

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Hornicko-geologická fakulta
Institut ekonomiky a systémů řízení

**NÁVRH OPTIMALIZACE UMÍSTĚNÍ VRTŮ
PRO JÍMÁNÍ SKLÁDKOVÉHO PLYNU
NA SKLÁDCE TKO FRÝDEK-MÍSTEK**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miluše Hlavatá, Ph.D.

Datum zadání:

říjen 2007

Datum odevzdání:

duben 2008

Ostrava 2008

Jaroslav ZEŽULA



Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta

INSTITUT ENVIRONMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Školní rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro: Jaroslava Z E Z U L U

studijní program: M2102 Nerostné suroviny

obor: 2102T003 Komerční inženýrství v oblasti surovin

forma studia: kombinovaná

Název tématu: Návrh optimalizace umístění vrtů pro jímání skládkového plynu na skládce TKO Frýdek-Místek

A draft proposal for optimization of location of a borehole for the storage gas intake at a solid communal waste storage yard

Zadání pro vypracování:

1. Úvod
2. Tvorba a chování bioplynu ve skládkách TKO
3. Vliv bioplynu na životní prostředí
4. Metodika stanovení emisí metanu z nezabezpečených skládek
5. Vytvoření návrhu optimalizace umístění jímacích vrtů pro jímání včetně metodiky odběru
6. Vyhodnocení
7. Závěr

Rozsah grafických prací: 5 - 10

Rozsah původní zprávy: 40 - 50

Seznam odborné literatury:

1. STRAKA, František, *Tvorba plynu ve skládkách tuhých komunálních odpadů: Chování skládek TKO a metody jejich testování*, 1. vyd., Praha: ČSAV, 1993. 205 s.
2. STRAKA, František a autorský kolektiv, *Bioplyn*, 2. roz. a dopl. vyd., Praha: GAS s.r.o. 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6
3. www.biom.cz – Stránky Českého sdružení pro biomasu
4. Provozní řád řízení skládky odpadů Frýdek-Místek I., III., IV. a V. etapa
5. Zákon č. 185/2005 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, včetně souvisejících vyhlášek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miluše Hlavatá, Ph.D.

Konzultant: Ing. Lubomír Tararík

Datum zadání diplomové práce: 10/2007

Termín odevzdání diplomové práce: 30.04.2008

V Ostravě dne 31.10.2007

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Miluši Hlavaté, Ph.D. a konzultantovi Ing. Lubomíru Tararíkovi za poskytování cenných rad, poznatků a za odborné vedení při mé diplomové práci, a také své rodině za morální podporu při studiu a při zpracování této práce.

OBSAH

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE	8
1. ÚVOD	9
2. TVORBA A CHOVÁNÍ BIOPLYNU VE SKLÁDKÁCH TKO	10
2.1. Tvorba a podmínky vzniku plynu ve skládkách tuhých komunálních odpadů....	11
2.1.1. Obecně o bioplynu	11
2.1.2. Historické kořeny bioplynové technologie	12
2.1.3. Podmínky a principy vzniku plynu ve skládkách tuhých komunálních odpadů.....	13
2.1.4. Aerobní fáze.....	14
2.1.5. Acidogenní fáze	15
2.1.6. Nestabilizovaná methanogenní fáze	15
2.1.7. Stabilizovaná methanogenní fáze	16
2.2. Procesy a faktory ovlivňující chování skládkových těles	17
2.2.1. Složení odpadů.....	19
2.2.2. Vlivy a chování vody	21
2.2.3. Chování plynů.....	22
2.2.4. Vliv teploty a tlaku	24
2.2.5. Vliv pH	25
3. Vliv BIOPLYNU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	27
3.1. Bezpečnostní rizika při tvorbě skládkového plynu	27
3.2. Toxická rizika	28
3.3. Vliv a účinky na faunu a flóru	30
4. METODIKA STANOVENÍ EMISÍ METHANU Z NEZABEZPEČENÝCH SKLÁDEK.....	32
4.1. Výpočtové metody zjištění emisí methanu	32
4.2. Terénní měřicí metody zjištění emisí methanu	33
5. VYTVOŘENÍ NÁVRHU OPTIMALIZACE UMÍSTĚNÍ JÍMACÍCH VRTŮ PRO JÍMÁNÍ BIOPLYNU VČETNĚ METODIKY ODBĚRU	37
5.1. Charakteristika skládkového tělesa.....	39
5.2. Hydrologie okolí skládky.....	42
5.3. Provozní podmínky skládky	44
5.4. Měření složení skládkového plynu (metoda odběru).....	45

5.4.1. Zaměření míst pro umístění sond.....	47
5.5. Měření složení skládkového plynu	49
5.6. Faktory, které mohou ovlivňovat měření.....	53
5.7. Optimální umístění jímacích vrtů	54
6. VYHODNOCENÍ.....	56
6.1. Výpočet průměrné produkce CH ₄ z 1 m ² plochy.....	57
6.2. Využití bioplynu – prodej elektrické energie do sítě ČEZ	59
6.3. Modelový případ výběru kogenerační jednotky a prodeje elektrické energie pro V. etapu skládky	61
7. ZÁVĚR	63
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	66
SEZNAM TABULEK	68
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	68
SEZNAM PŘÍLOH.....	69

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce pod názvem „Návrh optimalizace umístění vrtů pro jímání skládkového plynu na skládce TKO Frýdek-Místek“ bylo popsat vznik skládkového plynu na tělese skládky tuhých komunálních odpadů a provést měření skládkového plynu na části V. etapy skládky tuhých komunálních odpadů Frýdek-Místek tak, aby bylo možno z výsledků měření navrhnout optimální místa pro umístění vrtů pro jímání skládkového plynu.

Vzorky skládkového plynu byly odebírány metodou zárazné sondáže z hloubky 0,6 m pod povrchem skládky. Měření složení skládkového plynu bylo prováděno analyzátozem AIR LF ASEKO GAS ANALYSERS. Součástí práce bylo vytvoření emisní mapy v programu Surfer.

ANNOTATION OF THESIS

The aim of the diploma thesis called “**A Draft Proposal for Optimization of Location of Borehole for the Storage Yard Gas Intake at a Solid Communal Waste Storage Yard Frýdek-Místek**“ was to describe the origin of the storage yard gas at the solid communal waste storage yard, and carry out its gas measurements at the section V of the phase of the solid communal waste storage yard Frýdek-Místek in order to be able to proper optimum sites to locate the boreholes for the storage yard gas intake based on the measurement findings.

The storage yard gas sampling was made applying a method of borehole driving from the depth of 0.6 m under the storage yard surface. The storage yard gas composition measurement was carried out by the AIR LF GAS Analyzer. A part of the work was creation of an emission map in the Surfer Program registering sites where methane was measured. Based on the map, optimum sites for boreholes location were chosen.

1. ÚVOD

Diplomová práce s názvem „Návrh optimalizace umístění vrtů pro jímání skládkového plynu na TKO Frýdek-Místek“ předkládá průzkum nezrekultivované části V. etapy skládky tuhých komunálních odpadů ve Frýdku-Místku (TKO Frýdek-Místek), a to zjištění množství methanu, který toto skládkové těleso produkuje. Cílem bylo zmapovat množství vznikajícího methanu tak, aby bylo možno označit navržená místa jako optimální pro umístění vrtů pro jímání skládkového plynu.

V první části diplomové práce jsem za použití uvedené literatury popsal problematiku skládkového plynu, zejména jeho vznik, ovlivňující faktory a také dopad na životní prostředí. Praktická část popisuje samotné měření skládkového plynu na části V. etapy skládky ve Frýdku-Místku, kde již došlo k ukončení ukládání odpadů.

Měření probíhalo metodou zárazné sondáže za pomoci již vyrobené sondy. Vzorky byly odebírány analyzátozem skládkového plynu AIR LF ASEKO GAS Analysers. Pomocí programu Surfer byla z výsledků měření zpracována emisní mapa. Na základě této mapy pak bylo v závěru shrnuto, zda se jedná o optimální místa pro instalaci vrtů pro jímání skládkového plynu.

2. TVORBA A CHOVÁNÍ BIOPLYNU VE SKLÁDKÁCH TKO

Tato kapitola představuje souhrnnou formou celý problém skládkových plynů z hlediska četných praktických zkušeností i navržených teorií. Práce praktické a experimentální povahy převládají nad pracemi teoretickými. To je dáno již samotnou povahou problému skládek a materiálů ukládaných na nich, kde dosažení alespoň přibližné ideality nebo homogenity je většinou nemožné. Příznivější situace je u nových skládek, ale i zde je často problém dodržet rovnoměrné hutnění odpadu, případně zajistit rovnoměrnou distribuci různých druhů komunálních odpadů.

Obecně lze konstatovat, že problémy s neidealitou tělesa skládky rostou s klesající kapacitou. Přistupují k tomu i klimatické vlivy, které jsou často v různých územích značně odlišné. Pro samovolný rozvoj procesů biologického rozkladu jsou obsah vody v odpadu i jeho teplota klíčovými faktory.

Často se setkáváme se všeobecným a nepřístupně zjednodušujícím požadavkem určit výtěžek plynu pouhým vynásobením kapacity tělesa jedinou univerzální hodnotou měrné produktivity. Skutečné chování jednotlivých skládek často vykazuje velmi značné rozdíly, které jsou ale při hlubším studiu nebo po experimentálním ověření vysvětlitelné a pochopitelné.

Celková báze experimentálních zkušeností je již velmi rozsáhlá především díky velmi početným čerpacím technologiím instalovaným v USA a Německu. Naměřené výsledky umožňují přijatelně vysvětlit chování skládkových těles jako souhrn paralelně probíhajících biologických, chemických a fyzikálních procesů a vlivů. Základní roli hrají biologické procesy, které se rozvíjejí zcela samovolně a ovlivňují silně i následující změny ryze chemické a fyzikální.

Problém skládek odpadů začal narůstat do nebezpečných rozměrů teprve v nedávné době, a to následkem nevhodného hospodaření vysoce industrializovaných společností. Množství methanu ve skládkách bylo tehdy díky zcela odlišné skladbě odpadů, menším objemům skládek a díky nízkým stupňům hutnění odpadů malá.

Příčinou hromadění a narůstání problémů s tvorbou plynu ve skládkách komunálních odpadů byla především dramaticky se měnící skladba odpadů a velký nárůst jejich množství. Komunální odpady bohaté na biologicky rozložitelné látky podlehnou rozkladu velmi snadno, pokud jsou pro to vytvořeny vhodné podmínky.

Rozklad odpadů začíná většinou už během sběru a svozu aerobními procesy, po uložení do skládek se ale povaha prostředí rychle mění a tak jak mizí volný kyslík, rozvíjí se nová bakteriální společenstva a organické látky jsou odbourávány na stále jednodušší individua za rostoucí tvorby plynů, převážně oxidu uhličitého CO_2 a methanu CH_4 . [1]

2.1. Tvorba a podmínky vzniku plynu ve skládkách tuhých komunálních odpadů

2.1.1. Obecně o bioplynu

Laickou veřejností je bioplyn chápán jako sice možná páchnoucí, nicméně užitečný a ekologicky čistý plyn vznikající v živých organismech, resp. působením těchto organismů. Mezi odbornou veřejností není definice bioplynu zcela jednoznačná, avšak současná technická praxe přiřadila souhrnný termín „bioplyn“ výlučně pro plynný produkt anaerobní methanové fermentace organických látek uváděné také pod pojmy „anaerobní digesce“, „biomethanizace“ anebo „biogasifikace“. Názvem „bioplyn“ je obecně míněna plynná směs methanu a oxidu uhličitého. V plynném produktu dobře prosperujících methanogenních mikroorganismů představuje suma CH_4 a CO_2 hodnoty velmi blízké 100% objemu, vždy s výraznou převahou obsahu methanu. V technické praxi se však nemusíme vždy potkat s takovýmto „ideálním“ bioplynem, a proto je zde celá škála dalších plynů, které může bioplyn obsahovat. Mohou to být zbytky vzdušných plynů (N_2 , O_2), neúplně spotřebované produkty acidogeneze (H_2 , přebytek CO_2) anebo další minoritní a stopové příměsi z předcházejících anebo simultánních reakcí organické hmoty (H_2S , N_2O , uhlovodíky).

V oboru skládkových plynů se můžeme dostat do definičních problémů s tím, co ještě je bioplyn a co jím již není. Skládkový plyn je termín, který se někdy používá pro veškeré plyny, které lze odsát či navzorkovat z tělesa skládky odpadů bez ohledu na to, zda obsahuje třeba i jen 1% objemu methanu a nebo i 10% objemu kyslíku. Kvalitní skládkový plyn se však svým složením velmi blíží reaktorovým bioplynům, především nízkými obsahy dusíku a velmi nízkými až nulovými obsahy kyslíku při majoritním zastoupení pouze methanu a oxidu uhličitého.

Anglosaská literatura v oborech plynárenství, ochrany ovzduší, skládek a odpadového hospodářství vytvořila pro skládkový plyn dnes již široce používanou zkratku LFG = Landfill Gas (skládkový plyn). [2]

2.1.2. Historické kořeny bioplynové technologie

Bioplyn není žádným novodobým vynálezem, je tak starý jako život na naší planetě. Slunce fotosyntézou umožňuje růst nového života – organická hmota tvořená převážně vodou, bílkovinami, tuky, uhlovodíky a minerálními látkami se při odumírání rozkládá na své původní složky: oxid uhličitý, vodu a minerály a přitom se uvolňuje energie. Vedle jiných procesů rozkladu, jimiž jsou hoření, trávení, kvašení a trouchnivění, představuje i vyhnívání proces přeměny. Při tomto procesu vzniká bioplyn.

K vyhnívání organických látek dochází bez přístupu vzduchu a ve vlhkém prostředí působením methanových bakterií při teplotě mezi 0 °C až 70 °C. Na rozdíl od kompostování, tedy tlení, nevzniká při vyhnívání teplo, vzniká ale hořlavý plyn methan. Dále se tvoří oxid uhličitý a voda, jakož i stopové plyny a humusové látky.

Hnilobné procesy probíhají v usazeninách moří, řek a jezer, stejně jako v močálech a rašeliništích, v neprovětrávaných vrstvách půdy, skládkách, hnojištích, jímkách kejdy a odpadních vod, v bahnitých plochách rýžových polí. Unikne-li methan do vzduchu, pak vlivem slunečního světla, ozónu a radikálů oxiduje na oxid uhličitý a vodu. Do doby industrializace zůstávala produkce a rozklad methanu v rovnováze. Dnes je tato rovnováha stále porušována. Např. při těžbě uhlí, ropy a zemního plynu uniká velké množství methanu v nespálené formě do atmosféry. To vedlo v posledních desetiletích ke stálému nárůstu koncentrace methanu v zemské atmosféře. Methan je po oxidu uhličitém nejvýznamnější škodlivinou ve vzduchu a podílí se z 20 % na skleníkovém efektu. Při oxidaci spotřebovává ozón a tím přispívá ke zvětšování ozónové díry ve stratosféře. Za těchto okolností získává na významu technická výroba a využití bioplynu.

První systematické výzkumy bioplynu provedl italský přírodovědec Alessandro Volta, který se zabýval také elektrickým proudem. Kolem roku 1770 jímál Volta bahenní plyn ze sedimentu hornoitalských jezer a prováděl pokusy s jeho spalováním. Anglický fyzik Faraday také experimentoval s bahenním plynem a identifikoval ho jako uhlovodík. Teprve roku 1821 se Avogadrovi podařilo sestavit chemický vzorec methanu (CH_4). Francouzský bakteriolog Pasteur konal roku 1844 pokusy s bioplynem, který získával z hnoje. Jako první navrhl použít koňský hnůj z pařížských povozů k výrobě plynu pro pouliční osvětlení.

Anaerobní vyhnívací proces dostal velmi silné podněty na konci 19. století, kdy se zjistilo, že touto metodou lze čistit odpadní vody. V roce 1897 bylo v indické Bombaji v jednom ústavu pro léčbu lepry postaveno první zařízení, v němž byl plyn využit ke svícení a od roku 1907 také pro pohon motorů vyrábějících elektrický proud.

Od roku 1906 začal v Německu kalový technik Imhoff se systematickou výstavbou anaerobních, dvoustupňových čističek odpadních vod, které označoval jako „emšerské nádrže“ (Emscher byla kdysi řeka, která odváděla vodu z bažinaté oblasti Emscherbruch; během industrializace se z ní však stal odpadní kanál pro velkou část Porúří). Až do 2. světové války pokračovalo využívání kalového plynu rychlým tempem. Kalový plyn byl v té době chápán jako „domácí pohonná hmota“ a byly prováděny četné pokusy zbavit jej vody, oxidu uhličitého a sirovodíku, utěsnit ho do ocelových láhví a používat ho pro pohon automobilů.

Před 2. světovou válkou a během ní byly v Německu prováděny pokusy zvýšit v čističkách výrobu plynu přidáním pevných organických odpadních materiálů, tedy použít metody dnes označované jako kofermentaci. V roce 1940 byl ve Stuttgartu poprvé jako přísada použit tuk z lapačů tuku, a to s dobrým výsledkem. Na návrh Imhoffa byly v Halle konány pokusy s přidáním takových odpadů, jako je odpad ze sladkého dřeva, obsah bachoru přežvýkavců, lignin, rostlinný a obilný odpad. Pomocí obsahu bachoru přežvýkavců bylo získáno 158 l plynu na 1 kg a působením sladkého dřeva dokonce 365 l plynu na 1 kg. Doba působení byla u obsahu bachoru přežvýkavců 20 dní, u sladkého dřeva činila doba působení 45 dní. Velmi podrobné pokusy v oblasti kofermentace prováděl dr. Franz Pöpel během války v holandském Ammelfoortu. Už tehdy byl do těchto prací zahrnut i organický domovní odpad. [3]

2.1.3. Podmínky a principy vzniku plynu ve skládkách tuhých komunálních odpadů

Rozvoj methanogenních procesů není zcela samozřejmý, i když je zcela samovolný. K tomu, aby se ve skládkách začal vyvíjet bioplyn, je nutno, aby byly splněny následující podmínky:

- a) zabránění přístupu vzduchu (kyslíku) – methanové bakterie jsou striktně anaerobní. Je-li přítomen kyslík, musejí ho aerobní bakterie nejprve spotřebovat,

- b) vlhké prostředí – v prostředí s nedostatečnou vlhkostí nemohou anaerobní rozkladné procesy vůbec probíhat a dokonce i započaté mechanizační pochody se při ztrátě vlhkosti zastavují,
- c) odpad nesmí obsahovat žádné baktericidní ani jiné, pro bakterie toxické nebo inhibující látky – organické kyseliny, antibiotika, chemoterapeutika a desinfekční prostředky mohou proces vyhnívání brzdít nebo úplně zastavit, zvláště při vyšších koncentracích,
- d) zabránění přístupu světla – světlo sice bakterie neničí, ale brzdí proces,
- e) stálá teplota – methanové bakterie pracují při teplotě mezi 0 °C až 70 °C. Kromě několika kmenů, které mohou žít při teplotě až 90 °C, při vyšších teplotách hynou. Při teplotách pod bodem mrazu přežívají, ale nepracují,
- f) hodnota pH – hodnota pH by ve slabě alkalickém prostředí měla ležet okolo 7,5.

Průběh postupného biologického odbourávání organické hmoty odpadů ukládaných ve skládkách je popisován jako sled několika oddělených fází s charakteristickými podmínkami i produkty. Nejpodrobnější dělení rozlišuje následující fáze procesu, které v daném sledu probíhají zcela samovolně:

- 1) aerobní fáze
- 2) fáze acidogeneze – kyselinotvorná (aerobní, fakultativněanaerobní i anaerobní)
- 3) fáze nestabilizované methanogeneze (přísně anaerobní)
- 4) fáze methanogeneze stabilizovaná (přísně anaerobní) [1]

2.1.4. Aerobní fáze

V průběhu aerobního biologického odbourávání odpadů probíhá mnoho složitých procesů, které však nebyly předmětem specializovaného intenzivního studia i vzhledem k tomu, že tato fáze po uložení odpadů poměrně rychle ustává v průběhu několika dnů či týdnů následkem vyčerpání kyslíku, zvláště pak po zhutnění odpadů. Tato fáze je však důležitá tím, že lože skládky je primárně zahříváno probíhajícími exoterními procesy.

Hlavním plynným produktem je v této fázi CO₂. Aerobními procesy je biologicky narušena většina snadno a část středně odbouratelných substrátů. [1]

V první fázi přeměňují přítomné anaerobní bakterie, tedy ještě nikoli methanové bakterie, makromolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuk, celulózu) pomocí enzymů na nízkomolekulární sloučeniny, jako jsou jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda. Tento proces se nazývá hydrolýza. [3]

2.1.5. Acidogenní fáze

Po vyčerpání dostupného kyslíku se postupně změní biologické oživení substrátu a je samovolně zahájena kyselinotvorná fáze. Tato změna biologických kultur ve skládce není náhlá a začíná postupně. Pro „kyselé“ kvašení totiž není nezbytně nutná nepřítomnost kyslíku, protože část kyselinotvorného společenstva bakterií jsou fakultativní anaeroby. Proces se postupně rozvíjí směrem k čistě anaerobní fázi. Tučky, celulóza a proteiny jsou přitom odbourávány až na jednoduché mastné kyseliny, přičemž v produktech převažují kyseliny o dvou až čtyřech uhlících (octová, propionová, máselná).

V průběhu kyselinotvorné fáze klesá postupně pH prostředí z hodnot 6,9 – 7,1 až na hodnoty okolo 6,4 i nižší, přičemž opětový finální vzestup pH na konci této fáze dosáhne pouze hodnot okolo 6,5 – 6,6. V plynných produktech kyselinotvorné fáze se vedle CO_2 objevují i malá měřitelná množství vodíku, který je pro četné methanogenní bakterie hlavním substrátem pro tvorbu methanu.

Celulózové materiály jsou v tuhých komunálních odpadech hlavním zdrojem zásobujícím dlouhodobou produkci methanu. Obecně je předupravený materiál (papír, lepenka) snáze rozložitelný než dřevo a výrobky z něj. Biologická rozložitelnost je dána nejen obsahem inertního ligninu, ale i strukturou tuhé fáze, která předurčuje podmínky kontaktu enzymů a bakterií s reagujícími řetězci celulózy. [1]

2.1.6. Nestabilizovaná methanogenní fáze

Název této fáze není dosti výstižný, spíše by se mělo hovořit o přechodné fázi acidomethanogenní. Výraz „nestabilizovaná methanogeneze“ vychází zřejmě z poznatků, že tam, kde nejsou v odpadu trvale dodrženy striktně anaerobní podmínky, se celý vývojový proces v této fázi zastavuje, přičemž produkce methanu je slabá a podle okamžitých podmínek kolísavá.

Problematika methanogenních mikroorganismů a jejich rozvoje je úzce spjata s jejich fyziologickou unikátností, ať již hovoříme o jejich značně specializovaném výběru energetických zdrojů, nebo o jejich extrémních požadavcích na anaerobní prostředí. Expozice vzdušným kyslíkem naruší rozvinuté methanogenní populace v mnohem kratších časech než jakékoliv jiné anaerobní mikroorganismy.

Schopnosti methanogenních organismů přežívat a množit se se odvíjí od jejich trvalé symbiózy s jinými, nejčastěji acidogenními populacemi. Samostatná acidogenní společenstva přitom zpracovávají substrát s mnohem vyššími rychlostmi, než jsou běžné u methanogenů. Methanogenní fáze je pak vlastně rovnovážným stavem, kdy rozvoj acidogenních organismů se ekvivalentně sníží a přizpůsobí se té kapacitě, se kterou jsou jejich symbionti produkující metan schopni zpracovávat produkty jejich látkové výměny.

Dokonalému rozvoji methanogenních společenstev musí předcházet účinné prokvašení substrátu v kyselinotvorné fázi, které vytvoří dostatek nutrietů. Další podmínkou pro rozvoj methanogenní fáze je nárůst pH, protože kyselá prostředí nejsou pro methanogeny vhodná. Jako optimální prostředí vyžadují methanogeny pH v rozmezí 6,8 – 7,8. V počátečním stadiu rozvoje methanogeneze je důležitý i vliv solí, jež mohou v nadměrných koncentracích negativně ovlivnit množící se kultury. Toxický vliv přitom stoupá v řadě $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{Na} - \text{K} - \text{NH}_4$.

Na methanogenní proces působí toxicky i většina těžkých kovů, ovšem jejich koncentrace v rozpuštěné formě v anaerobních podmínkách jsou většinou nízké díky současné přítomnosti sulfanu, který tyto kovy převádí do nerozpustných sulfidů. [1]

2.1.7. Stabilizovaná methanogenní fáze

Po dostatečném rozmnožení methanogenních bakterií v symbióze a rovnováze s acidogenními společenstvy probíhá proces tvorby methanu rychlostí, která je úměrná okamžitému množství zpracovávaného substrátu. Ve stabilizované fázi tvorba methanu nekolísá, rychlost procesu ale klesá se stupněm zpracování substrátu. Tvorba methanu je v této fázi vždy provázena i produkcí CO_2 .

Nižší růstové rychlosti methanogenů způsobují, že procesy probíhají ve fázi methanogenního kvašení výrazně pomaleji než ve fázi kyselinotvorné. Například vzorek podlehnuvší kyselému kvašení za 10 – 24 hodin vyžaduje k rozkladu takto vzniklých mastných kyselin čas zhruba 6,5 dne.

Pro všechny biologické procesy a bez výjimky i pro methanogenní kultury je významným, životně důležitým parametrem vlhkost substrátu. Při nízkých vlhkostech se proces nemůže účinně dostat do stabilizovaného stadia, resp. při poklesu vlhkosti hrozí zpomalení až zastavení procesů. Naopak zvlhčení substrátu nad sorpční kapacitu způsobí perkolaci kapaliny (protiproudovou extrakci - vyluhování určité složky ze směsi různých látek jejím rozpuštěním ve vhodném rozpouštědle), která roznáší bakterie i enzymy do míst dosud nezasažených kultivací a tvorba methanu prudce vzrůstá.

Obsah CH_4 a CO_2 v produkovaném plynu není obecně konstantní a skládku od skládky se liší podle podmínek a podle složení substrátu. Určujícími podmínkami jsou vedle složení odpadu i zmíněný vliv vlhkosti a také vliv teploty. Methanogenní organismy v dostatečně hlubokých skládkách běžně vytvářejí teploty 35 – 50 °C, jsou však schopny aktivně existovat až do teplot 75 °C. Pokles teploty pod 30 °C má velmi negativní vliv na populaci methanogenů. [1]

2.2. Procesy a faktory ovlivňující chování skládkových těles

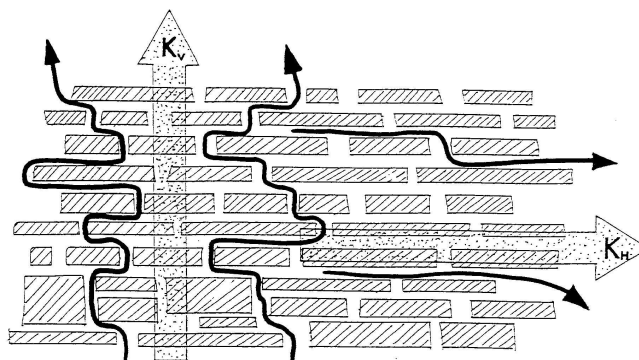
Tři hlavní faktory ovlivňující tvorbu methanu ve skládce jsou složení odpadu, obsah vody a přístup vzduchu, resp. stupeň zajištění anaerobních podmínek. Složení odpadů můžeme brát jako v průměru dané pro určenou svozovou oblast a poměrné zastoupení zdrojů. Vlhkost odpadu a její nárůst po uložení závisí na místních klimatických podmínkách, avšak může být již významně ovlivněna tvarem skládky a procesem skládkování. Dosažení anaerobních podmínek je ve zcela převažující míře otázkou technologie skládkování a uspořádání skládkového tělesa.

Přestože se může zdát, že skládkový plyn působí jen obtíže a že zvláště u malých skládek by bylo výhodnější, kdyby methanogeneze vůbec nezačala, není to řešení optimální. Technicky je snadno proveditelná instalace takové drenáže k ventilaci vzduchu, aby anaerobní procesy byly zcela znemožněny nebo významně potlačeny. Takovýmto zásahem bychom ale nevyloučili činnost fakultativně anaerobních či aerobních hydrolyzujících a acidogenních bakterií. Za tohoto stavu se pak ale drasticky zhorší kvalita průsakové vody jako následek prudkého nárůstu koncentrace kyselin, poklesu pH a mobilizace dosud vázaných těžkých kovů. [1]

Proces hutnění

Ve většině případů se do skládek tuhých komunálních odpadů ukládá neupravený odpad. Je tedy nutno počítat s typickým jevem doprovázejícím chování skládky, který spočívá v rozdílné propustnosti tělesa v horizontálním a vertikálním tvaru. Ploché nebo hutnicím strojem zploštělé podíly odpadu zaujímají vždy v naprosté převaze polohu rovnoběžnou s hutněným povrchem. Logicky tedy vyplývá větší odpor tělesa vůči pohybu kapalin i plynů ve směru kolmém k povrchu ukládání než ve směru s povrchem rovnoběžným (viz Obrázek č. 1).

Obrázek č. 1: Rozdíly v horizontální a vertikální propustnosti tělesa skládky [1]



Otázka poměru mezi rozdílnými hydrodynamickými odpory skládky ve směrech vertikálních a horizontálních je předmětem různých odhadů i spekulací. Vzhledem k průměrné vysoké nehomogenitě skládky jsou tyto veličiny jen velmi obtížně měřitelné. Většina autorů se přiklání k názoru, že propustnost tělesa skládky je vyšší horizontálně než vertikálně. Odhady skutečného poměru těchto dvou propustností se liší od „mnohonásobně vyšší“ (ve prospěch propustnosti horizontální), až po střízlivější odhad rovný 2 (horizontální propustnost je 2x větší než vertikální). Je logické, že s existencí tohoto faktu musíme počítat. Plyn vznikající v tělese skládky bude snáze migrovat vodorovně, resp. po směru hutnění a vytváří tím i různé podmínky pro různé tvary těles. Nadzemní skládky navrhované nad rovný terén uvolňují nejvíce plynů na úbočích a tlaky v centru jsou nižší než u podúrovňových skládek „vanového“ typu. U této druhé skupiny těles, pokud nejsou izolovány, plyn narazí na většinou obtížněji propustnou stěnu a tlak uvnitř lože vzroste tak, až celé vznikající množství je schopné unikat vertikálně nebo bokem do okolního terénu. Tím vzrůstá nebezpečí průniku plynu do vzdálenějšího okolí.

Tvar tělesa skládky předurčuje tedy tyto hlavní rysy budoucího chování:

- a) dobu a účinnost dosažení anaerobizace zakrytých vrstev,
- b) dosaženou hladinu rovnovážného vnitřního přetlaku plynu a hlavní směry šíření tohoto plynu,
- c) celkové množství vody ze srážek přijaté povrchem odpadů,
- d) množství vody odtékající mimo odpad při přívalových deštích,
- e) celkové množství vody odpařené z povrchu odpadů.

Hutnění uložených odpadů má 3 zásadní významy:

- a) technický, resp. technologický
v hutněné skládce dochází k rychlé anaerobizaci; zastavení anaerobních rozkladů přispívá účinně i k omezení zápachů šířených do okolí,
- b) ekonomický
čím větší tonáž dokážeme do daného objemu uložit, tím hospodárněji je těleso skládky provozováno,
- c) bezpečnostní
na hutněné ploše vzniká požár jen velmi obtížně.

Vhodným strojem k hutnění je kompaktor vybavený rozhrnovací mřížovou radlicí. Hutnění se musí provádět trvale a po nepřítisilných vrstvách. [1]

2.2.1. Složení odpadů

Intenzita a hloubka biologického rozkladu je zcela logicky přímo závislá na podílu biodegradabilních složek v celkové hmotě odpadu a na jejich individuální reaktivitě. Rychlost a intenzita rozkladu organických substrátů ve skládce je funkcí složení odpadů – samozřejmě vedle ostatních parametrů jako jsou anaerobní podmínky, obsah vody, pH, atd. Samotná skladba odpadu však zdaleka není stálá a univerzální, ale přímo odráží technickou, technologickou, ekonomickou i sociální situaci společnosti, která tento odpad produkuje. Množství i skladba odpadů se rychle mění s hospodářsko-technologickou vyspělostí dané společnosti.

Do osmdesátých let minulého století byly ve vyspělých zemích vztahy mezi množstvím odpadu a obsahem biodegradabilních složek plynule rostoucí funkcí, odpovídající rozvoji techniky a životní úrovni. Tento trend však již neplatí, neboť se ve stále větší míře uplatňují obecné metody snižující množství odpadů a měnící jejich

skladbu (sběr tříděných složek, recyklace, nízkoodpadové technologie vč. redukce množství nerecyklovatelných obalů apod.).

Značné rozdíly ve složení tuhých komunálních odpadů různého původu spolu se silnými vlivy obsahu vody jsou jistou příčinou velkých rozdílů v odhadech i experimentálních nálezech skutečných hodnot měrných výtěžků methanu z odpadu ve skládkách. Ideální situace by byla, kdyby bylo možno s jistou technicky přijatelnou přesností stanovit pro daný obsah biologicky odbouratelných složek v tuhých komunálních odpadech hodnotu specifického výtěžku methanu (m^3/t) nebo ještě lépe hodnotu specifické produkční rychlosti (m^3/t za jednotku času).

Bohužel jsou u těchto klíčových hodnot nalézány výsledky lišící se často vzájemně o 100 i více %. Tyto skutečnosti ukazují na nezbytnou nutnost průzkumu starých skládek i na nutnost průběžného testování právě tvořených skládek.

Pro hodnocení prakticky využitelných produkčních rychlostí je důležitá daná lokální skladba odpadu. Každá složka odpadu charakterizovatelná jako určité chemické individuum se vyznačuje svými reakčními vlastnostmi. Při velmi pestré skladbě odpadu ale tyto detailní charakteristiky již zcela ztrácejí svůj význam, neboť modelové řešení by se neúměrně komplikovalo. Používáno je řešení, které se snaží být kompromisem mezi složitostí systému a dostatečným rozlišením skupinových reakčních rychlostí. V biologicky rozložitelných podílech jsou rozlišovány složky reagující rychle, středně a pomalu. Čtvrtou přístupující složkou u jednotlivých frakcí jsou inerty.

Tabulka č. 1: Příklad zatřídění jednotlivých biologicky rozložitelných podílů
v hlavních frakcích odpadu [1]

Stupeň rozložitelnosti	Doba odbourání (v letech)	Stupeň odbourání (v %)
Snadno rozložitelné	1 – 5	100
Středně rozložitelné	5 – 25	50
Obtížně rozložitelné	20 – 100	90

Za snadno rozložitelné se považují kuchyňské a zahradní odpady, za středně rozložitelné papír a za obtížně rozložitelné odpady kůže, dřevo, impregnované lepenky apod. [1]

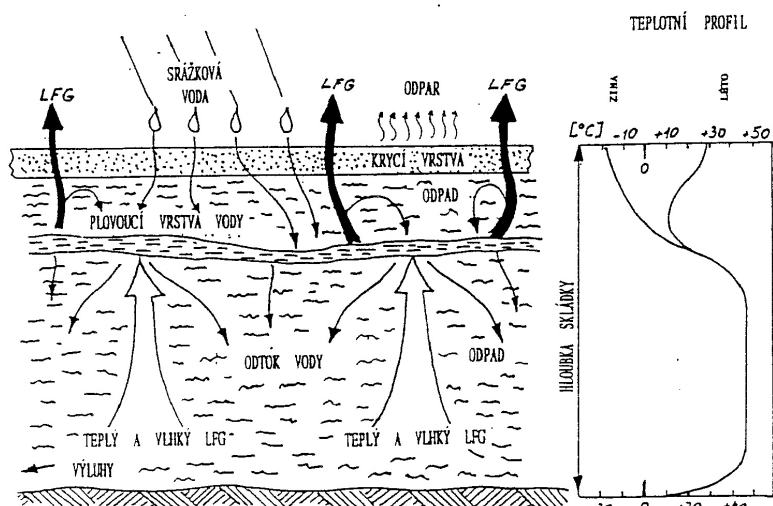
2.2.2. Vlivy a chování vody

Pozitivní vliv vody na rozvoj biologických procesů v tělese skládky je logickou a bez výjimky uznávanou podmínkou. V minulosti byly práce zaměřeny více na všeobecné ověřování vlivů vody, novější práce pak i na mechanismy pohybu výluhů a na podmínky postupné saturace (nasycení) tělesa skládky vodou.

V souvislosti s mechanismy pohybu vody v tělese skládek je třeba se zmínit o tom, že u některých skládek byly pozorovány obtížně vysvětlitelné pulsace vnitřních tlaků, které se opakovaly v celkem pravidelných periodách. Perioda měnicího se tlaku přitom nebyla v přímém vztahu ani k barometrickému tlaku ani k jiným měřitelným veličinám. Pulsace tlaků plynu ve skládkách však byly zjišťovány pouze u těles dostatečně aktivních a vlhkých. V takových tělesech jsou ale také nalézány zdánlivé anomálie ve vnitřní distribuci vody. Hladina vody jakoby „visící“ mnoho metrů nade dnem skládky, měnící s časem svou polohu vzhůru i dolů poukazuje na složitější efekty, než by byly spojitelné s prostým gravitačním stékáním.

Voda činnou skládkou pouze neprotéká, ale účastní se na stálém vnitřním recyklu, který může být i významně ovlivněn nuceným odčerpáváním plynů. Pokud těleso skládky neobsahuje vnitřní sběrné systémy, pak plyn tvořící se v hloubce tělesa migruje k povrchu nasycený vodní parou z teplých zón a postupuje vzhůru do vrstev chladnějších. Zde část vody kondenzuje a spojuje se i s prosáklou vodou srážkovou. Protiproudé toky plynu a vody se dynamicky střetávají tak, že se může vytvořit i vnitřní „plovoucí“ vrstva vody setrvávající v určité hloubce, udržována zde stálým přívodem vlhkého plynu zespodu (viz obrázek č. 2).

Obrázek č. 2: Pohyb vody v tělese skládky [2]



Experimentálně ověřenou podporou pozitivních vlivů vody na průběh procesů tvorby methanu je i to, že u skládek s nalezenými pulsacemi tlaku byly vždy zjištěny i vyšší hodnoty měrné produkční rychlosti methanu oproti skládkám s nízkými a nepulzujícími tlaky. I na největších skládkách s řízeným provozem a pravidelným okamžitým hutněním odpadu jsou pozorovány značné rozdíly ve výkonnosti jednotlivých vrtů a taky rozdíly v distribuci vody. Rozdílná distribuce vody v jinak zdánlivě homogenním tělese není patrná jen z různé vlhkosti odpadů vynášených z vrtu, ale i z různých hloubek v nichž byly nalezeny silně zvodnělé vrstvy („plovoucí nebo plynem nesená“ vrstva vody) vysoko nade dnem skládky.

Pohyb „plovoucí“ vrstvy vody je ovlivňován celou řadou parametrů (rychlost tvorby plynu, barometrický tlak, množství vsakující se srážkové vody, vzlínání a odpar vody z povrchu). Je zřejmé, že množství volné vody zadržované v tělese skládky, může být i značně větší, než by odpovídalo stacionárnímu působení kapilárních sil. Tato skutečnost má své praktické negativní důsledky, nehledě k tomu, že komplikuje případné pokusy o přesnější modelování pohybu vody. Vnitřní „plovoucí“ vrstvy vody mohou být totiž příčinou technických problémů spojených s výstavbou a provozem systémů na skládkový plyn (zaplavování vrtů, výkopů, sběrných potrubí, vsakovacích jímek apod.). [1]

2.2.3. Chování plynů

Kapitola popisuje podmínky, za nichž dochází k samovolnému anebo nucenému odchodu plynů z tělesa skládky. Pro posuzování pohybu plynů uvnitř tělesa i směrem ven z něj jsou zásadní tyto skutečnosti:

a) skládka je porézní prostředí, ve kterém pohyb plynů určují odpory, plochy a hnací síly. Porozita skládky je obecně velmi vysoká. Skládka obsahuje několik základních skupin „pórů“, pokud takto obecně označíme volné objemy uvnitř tuhé fáze odpadů jako celku. Rozdělení „pórů“:

- 1) mikro, mezo a makropóry uložených materiálů (vnitřní struktura dřeva, plastů, popela apod.),
- 2) vnitřní volné prostory nebo mezigranulační (meziodpadové) prostory nepřístupné nebo omezeně přístupné volné výměně plynů či kapalin – hlavně volné vnitřní prostory uzavřených nebo vhodně stlačených obalů s malými nebo žádnými porušeními celistvosti (např.

nepoškozené uzavřené plastové i skleněné nádoby, sprejové nádobky atd.),

- 3) volné mezigranulační (meziodpadové) prostory přístupné k volné výměně plynů či kapalin.

U aktivních skládek obsahujících již dostatek vlhkosti jsou většinou vlastní póry materiálů (skupiny 1) zaplněny kapalinami a je zjevné, že hlavní pohyb plynů v tělese se uskutečňuje jen přes prostory třetí skupiny.

Odhad velikosti, resp. experimentální zjištění porozity dostupné pro volnou a dostatečně rychlou výměnu plynů, je klíčem k úspěchu modelování toků plynů uvnitř skládkového tělesa. [2]

- b) plyn se stále vytváří v celém objemu tělesa skládky,** což je skutečnost podstatná, nezvratná, avšak z hlediska interpretace diskutovatelná. Odpady uložené dříve (spodní vrstva) jsou ve svém rozkladu pokročilejší, než vrstvy mladší a měly by tudíž produkovat plyn již s nižší intenzitou. Zde ale hrají roli i další faktory:

- 1) nedostatek vlhkosti (může zpomalit rozběh rozkladu starších odpadů),
- 2) methanogenním procesům předchází fáze acidogenních pochodů (může být ovlivněna vlhkostí odpadu),
- 3) po nárůstu biologické aktivity v tělese skládky spojeném s rostoucí tvorbou plynů začne docházet i k nerovnoměrné distribuci vody spojené s její retencí ve výše položených vrstvách (vznikají lepší podmínky pro průběh rozkladu),
- 4) nehomogenity tělesa (mohou způsobit značné rozdíly v rozvoji biologických procesů).

Některé modely hodnotící migraci plynů berou rozdíl ve stáří odpadů do úvahy, jiné situaci zjednodušují různými podobami formální střední rychlosti rozkladu. Rozhodujícím faktorem je však to, že plyn je trvale produkován, ať již určitý model hodnotí situaci s časově proměnnou rychlostí tvorby plynu nebo s formální střední hodnotou, stálou pro posuzovaný časový úsek nebo pro danou sekci skládky. [2]

- c) pohyb plynů je výrazně ovlivňován barometrickým tlakem.** Skládka odpadů jako makrosystém je ovlivňován svým okolím. Srážková voda hraje klíčovou roli při rozvoji biologických procesů, ovšem sledujeme-li chování již vzniklých

plynů, pak významnými vlivy musí být teplota a tlak. Teplota okolí má však na procesy uzavřené v anaerobních podmínkách v tělese skládky jen malý vliv (pokud jde o dostatečně hluboká tělesa). Rozkladné procesy probíhají v takových hloubkách, že sezónní změny teploty povrchu je významně neovlivňují. Na rozdíl od změn teploty je ale po celý rok nutno počítat s vlivy měnícího se barometrického tlaku. Ten sice není u většiny těles schopen ovlivnit procesy tvorby plynu probíhající uvnitř (pokud nejde o skládky příliš mělké, porézní, popraskané apod.), avšak výrazně ovlivňuje okamžité migrační rychlosti.

Rostoucí barometrický tlak, který se v poměrně krátké době – řádu maximálně desítek hodin – může změnit o 3 000 Pa i více, omezuje úniky plynu v tělese skládky, může způsobit i protisměrné vnikání vzduchu, avšak proti tomuto vlivu působí rostoucí stlačení plynu uvnitř tělesa společně se stálou produkcí plynu. Pokles barometrického tlaku naopak způsobí výrazné zesílení úniků plynu až do vyčerpání hnací síly (rozdíly tlaků) anebo do okamžiku zpětného pohybu atmosférického tlaku. [2]

2.2.4. Vliv teploty a tlaku

Vnitřní teplota skládky je ze všech spolupůsobících faktorů hodnotou s nejvyšší autonomií. Lze ji sice ovlivňovat, ale v praxi se toto řešení běžně nevyužívá. Teplota uvnitř skládky se vždy samovolně ustaví na hodnotě odpovídající životnímu optimu převládajících mikroorganismů. Nízké teploty jsou pozorovány u skládek, kde není dostatek vody, substrát je příliš zředěný inerty nebo odpad je již silně zreagovaný. Poměrně značné produkce plynu byly pozorovány u skládek, kde se teploty lože pohybovaly v rozmezí 16 – 22 °C. Přehřátí nebo zchlazení aktivní kultury mimo její životní optima vede vždy k poklesům výkonnosti. Ochlazené prostředí sice kulturu methanogenů nezahubí, ale může trvat i více než měsíc, než se systém vrátí do původního stavu.

Povrchová teplota skládky a teplota ovzduší nemá na procesy probíhající uvnitř tělesa žádného patrného vlivu. Typický hloubkový profil tělesa skládky vykazuje změny nanejvýše v prvních 3 – 4 m hloubky. Teploty do 1 m hloubky jsou ovlivňovány teplotou ovzduší. Dále do hloubky teplota rovnoměrně roste až do vrstvy s nejvyšší aktivitou. Nad dnem skládky teplota opět klesá. Byly pozorovány skládky s výraznějším

teplotním maximem, tak i skládky s plochým profilem vysokých teplot podél značné hloubky odpadů postihujících až 60 % celkové hloubky tělesa. Nejvyšší zjištěné teploty v loži byly okolo 50 °C.

Řízení teploty uvnitř skládky je problematické, avšak proveditelné, ba dokonce hodné doporučení. Pokud je plyn odsáván k využití a výluhy z tělesa jsou spolu s kondenzátem recyklovány, pak lze tento systém s výhodou využít i pro podporu rozvoje biologických procesů. V uživatelských stanicích je obvykle přebytek odpadního tepla, které může být použito pro ohřev vratných vod. Proces ohřevu je třeba přísně kontrolovat a sledovat i teploty v loži skládky, aby nedošlo k nežádoucímu poškození kultur příliš vysokými teplotami. Optimalizace ohřevu vratných vod se pak nutně projeví ve zvýšení produkce plynu. [1]

Vliv tlaku

Expanze vzduchu z kanálů, stok a splaškových jímek doprovázená nepříjemným zápachem je všeobecně známým průvodním jevem rychlého poklesu barometrického tlaku. Zcela stejným způsobem ovlivňuje atmosferický tlak a jeho změny také uvolňování plynů ze skládek odpadů, neboť změny barometrického tlaku se pohybují zhruba o 1 řád výše, než je hodnota přetlaku plynu potřebného k jeho trvalému vypuzování z tělesa skládky. Skládkové těleso díky svému velkému objemu a poměrně znané „volné porositě“ představuje zásobník plynu o velkém úložném objemu a případný barometrický protitlak je vždy kompenzován stlačením na relativně malé hloubce. [1]

2.2.5. Vliv pH

Dle ověřených optimálních oblastí pH pro rozvoj methanogenů vyžadují tyto organizmy neutrální až mírně zásadité prostředí. Jako optimální pH pro methanogeny se obvykle uvádí hodnota kolem 7,0, jsou ale i běžně pozorovány výluhy s hodnotou pH okolo 6,2, a to u výkonných skládek s intenzivní tvorbou methanu.

Pokles pH pod 6,0 zcela zjevně signalizuje, že podmínky pro rozvoj methanogenů nejsou dobré. Většina methanogenních kultur přijímá příznivě i prostředí o pH 7,5 a některé druhy jsou aktivní ještě i při pH 9,2.

Obecně lze tedy říci, že opatrná alkalizace prostředí nemůže přinést žádné škody na kulturách, zatímco pokles pH má skoro vždy na methanogeny fatální dopady. Pokud dojde k poklesu pH je to vždy signál, že životní podmínky methanogenů byly

poškozeny. Souhrn poznatků o vlivech pH nám umožňuje stanovit rozsah optima na hodnoty 6,8 – 7,5.

Pokud jsou skládkové průsaky a kondenzáty vtlačeny zpět do tělesa, potom současně s ohřevem mohou být tyto kapaliny upravovány tlumícími přísadami pro regulaci pH uvnitř skládky. Aby nedocházelo k místnímu zhoršení podmínek příliš vysokou alkalitou je nejvhodnější zvolit jeden ze dvou možných postupů:

- a) kontinuálně řízená neutralizace vratných vod na pH ne vyšší než 7,8 – 8,0,
- b) přídavek suspenze velmi jemně mletého vápence nevyžaduje přísnou kontrolu pH a nehrozí nadměrnou alkalitou při náhodném předávkování. [1]

3. VLIV BIOPLYNU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Skládky tuhých komunálních odpadů mohou působit na okolní životní prostředí všemi skupenskými formami emisí i vlivy ostatními. V oblasti plyných emisí se primární zájem soustřeďuje na přímá působení skládkových plynů a na jejich složení. Potenciálně nejširší ekologické nebezpečí představují emise kapalné (výluhové vody), pokud mají přístup do okolního terénu. Skládka odpadů je taky zdrojem prachu a hluku, a to nejen na tělese skládky, ale i na příjezdových komunikacích. Další nepříjemné a potenciálně nebezpečné vlivy mohou představovat i přemnožení nežádoucí živočichové (hmyz, hlodavci, ptáci). [1]

Praktické poznatky o požární a explozní bezpečnosti se mnohem větší měrou týkají skládkových bioplynů, toxické vlivy, prakticky výlučně představované sulfanem, se zase týkají mnohem více bioplynů reaktorových. [2]

3.1. Bezpečnostní rizika při tvorbě skládkového plynu

Pokud není těleso skládky dostatečně izolováno od okolního terénu, představuje průnik skládkového plynu zeminou značné bezpečnostní ohrožení pro osoby a okolní objekty. Ohrožení bezpečnosti představují u skládkového plynu dva základní faktory:

- 1) možnost udušení (za účinného spolupůsobení CO_2),
- 2) možnost exploze methanu.

Možnost udušení představuje velmi časté nebezpečí, obzvláště v objektech blízko sousedících se skládkou. Velmi často se přitom jedná o působení separovaného CO_2 . Díky velkým rozdílům v měrné hmotnosti obou základních složek skládkového plynu CO_2 a CH_4 dochází k jejich oddělování již během prostupu zeminou. Pokud však skládkový plyn může vyplňovat podzemní nebo uzavřené prostory s atmosférou prakticky bez proudění, pak dochází k výrazné gravitační separaci obou složek.

Exploze methanu z nahromaděných skládkových plynů byly již několikrát popsány a za oběť tímto neštěstím padlo mnoho lidských životů. Většina případů se odehrála v objektech sousedících se skládkou do cca 100 m jako přímé vlivy explozí. Počet obětí těchto neštěstí se celosvětově dá těžko odhadnout, je však jisté, že se už dají počítat na desítky. Účinná bezpečnostní opatření jsou zcela nezbytná už u menších těles

a za nebezpečnou je nutné považovat každou neznámou skládku ať je její objem třeba jen 10 tis. m³.

Pro zajištění bezpečnosti systémů čerpání a využívání skládkových plynů jsou běžně aplikována kritéria tzv. vnější explozní bezpečnosti vycházející ze změřených mezí výbušnosti směsí methanu se vzduchem:

dolní mez výbušnosti = 5% objemu CH₄

horní mez výbušnosti = 15% objemu CH₄

Tyto meze byly změřeny pro směs methanu a vzduchu a budou ovlivněny přítomností CO₂, jenž může být obsažen ve skládkovém plynu běžně přes 25% objemu. Pro směsí CO₂ sice chybí potřebné experimentální údaje, ale to neohroží vnější bezpečnost, budeme-li uvažovat dolní mez výbušnosti methanu jako 5% objemu CH₄.

Zcela jiný problém představuje tzv. vnitřní explozní bezpečnost. Vzhledem k tomu, že skládkové plyny jsou z tělesa odsávány, může se stát, že netěsným nebo porušeným systémem se do plynových prostorů nasaje vzduch. Je velmi důležitou technologickou otázkou, jaká koncentrace kyslíku ve skládkovém plynu je ještě explozně bezpečná. S ohledem na absenci experimentálních dat v této oblasti, nezbyvá než aplikovat pro vnitřní explozní bezpečnost limitní obsah kyslíku ne vyšší než 2-3% objemu, a to do doby, než bude tento problém experimentálně ověřen. Za předpokladu dobré technické úrovně odplyňovacích systémů není v současné době problémem udržovat hladinu kyslíku v plynu trvale pod 1% objemu. [1]

3.2. Toxická rizika

Methan sám není jedovatým plynem a ani jím není de facto oxid uhličitý, takže v majoritním složení je bioplyn vlastně nejedovatý. Vezmeme-li ale do úvahy, že ani methan ani CO₂ nejsou dýchatelné plyny a způsobují dušení a methan je navíc ještě výbušný, pak snáze zahrneme poměrně významnou část bioplynů mezi plyny s toxickými vlastnostmi. Na jedovatosti bioplynů se v naprosté převaze podílí jedna jediná sloučenina, a to H₂S – sulfan. Vlivy CO₂ jsou sice někdy významné, avšak vedle účinků H₂S jsou druhořadé. [2]

Sulfan – H₂S

Sulfan je bezbarvý plyn jen o málo těžší než vzduch charakteristického odpudivého zápachu po shnilých vejcích a již v malých koncentracích působí škodlivě na většinu živočichů. Má i dráždivé účinky, ale ty jsou většinou překryty celkově

toxickým působením. Sulfan reaguje s kovy v životně důležitých enzymech a projevuje se jako nervový jed. Nižší koncentrace jsou sice méně dráždivé, ale od jistého limitu se začne rychle uplatňovat paralýza nervového systému a zástavou dýchání dochází k usmrcení. Sulfan je čichem postřehnutelný přibližně od koncentrace $0,4 \text{ mg H}_2\text{S/m}^3$. Koncentrace překračující 300 mg/m^3 rychle otupují čich a přestávají být ohroženou osobou vnímány. Vzrůst koncentrace H_2S není úměrně doprovázen zesíleným vnímáním zápachu a nelze spoléhat na subjektivní čichový vjem při setrvávání v ohroženém prostoru. Silný zápach H_2S bez otupení čichu vnímáme asi při 30 mg/m^3 .

Koncentrace H_2S v rozmezí $100\text{--}140 \text{ mg/m}^3$ mohou již v několika hodinách expozice vyvolat příznaky otravy a koncentrace od 280 mg/m^3 jsou již nebezpečné po 1 hodině pobytu, přičemž již od 140 mg/m^3 se může vyvinout edém plic.

Lehčí otravy se projevují buď podrážděním dýchacích cest a nebo taky bolestmi hlavy, ospalostí a střídavými poruchami vědomí. Otravy vyššími koncentracemi H_2S probíhají velmi rychle. Postižený většinou kolabuje do hlubokého bezvědomí, časté jsou křeče, zúžené zornice a nepravidelný dech i srdeční činnost. Pokud se během expozice nezastaví srdeční činnost, je velká naděje na přežití postiženého, ovšem pouze za předpokladu, že je expozice rychle přerušena a je zahájena resuscitace. Po nabytí vědomí se mohou dostavit halucinace a agresivní stavy, zvracení.

Toxickým působením je sulfan velmi podobný kyanovodíku a je jen o málo méně jedovatý. Vlivy sulfanu se výjimečně mohou vyskytnout i na skládkách tuhých komunálních odpadů, a to dokonce i na takových, kde nejsou uloženy žádné materiály s extrémními obsahy síry či síranů. [2]

Oxid uhličitý – CO_2

Oxid uhličitý je bezbarvý, velmi těžký plyn (asi 1,5x těžší než vzduch) bez zápachu, ale s typickým projevem kyselosti na sliznicích, což je někdy i nepřesně interpretováno jako zápach. Jde o plyn typicky nakyslé chuti se silně dráždivými účinky na dýchací ústrojí. V nízkých koncentracích CO_2 není dráždění vnímáno, ale přesto je velmi účinně stimulována hloubka a rychlost dechu. Jedná se o automatickou a nevysaditelnou regulaci organismu, která podle výstupní koncentrace CO_2 upravuje intenzitu dýchání, jak k zajištění dodávky kyslíku, tak i k udržení správné acidobazické rovnováhy v krevním oběhu.

Oxid uhličitý není rozhodně toxickou látkou v pravém slova smyslu. Je fyziologicky naprosto nutnou sloučeninou – vdechovaný vzduch obsahuje 0,04 % objemu CO_2 , vydechovaný vzduch obsahuje 3,5 % CO_2 . Koncentrace CO_2 ve výši 0,5

% objemu můžeme dýchat bez zjevných příznaků i hodiny. Koncentrace v rozmezí „fyziologicky důležitých výstupů“, tj. 3-4 % objemu zvyšují zřetelně dýchání, tepelnou frekvenci i krevní tlak. Obsah 5 % CO_2 ve vzduchu již během půl hodiny vede k velmi výrazné manifestaci rychlého dýchání i růstu tepové frekvence. Pobyt v koncentracích 7-10 % objemu je již velmi nebezpečný a může vést k bezvědomí během několika minut.

Prostředí se zvýšeným obsahem CO_2 je jinak vnímáno osobou, která do něj vstupuje, než osobou, která zde pobývá. Oxid uhličitý je nebezpečný především tím, že se jako velmi těžký plyn hromadí v nejnižších bodech uzavřených prostorů, kde může při vysokých koncentracích působit na vstupující osobu šokovým vlivem s bezvědomím a rychlou následnou smrtí udušením.

„Dusivé“ účinky oxidu uhličitého byly prokázány i u rostlin. Dlouho přežíval názor, že vegetace v okolí skládek odumírá následkem vlivu methanu. Je ale nezvratně potvrzeno, že methan sám je vůči rostlinám zcela indiferentní. Methan je však v povrchu půd spotřebován methylotrófními bakteriemi za produkce CO_2 . Zvýšené koncentrace CO_2 v půdních profilech jsou skutečnou příčinou vyhynutí vegetace. [2]

3.3. Vliv a účinky na faunu a flóru

Jak již bylo výše uvedeno, poškození rostlin plynem bývalo zcela chybně kladeno za vinu působení methanu a podle poznatků methan sám nejeví vůbec žádné škodlivé vlivy na rostliny. Dokonce koncentrace CH_4 do 5 % objemu byly shledány jako pozitivně působící. Velmi vysoké koncentrace nad 45 % objemu však jevíly škodlivé účinky. Simultánně se zde projevují vlivy bakteriální oxidace methanu, která produkuje oxid uhličitý, a je to právě oxid uhličitý, který je potvrzen jako hlavní viník škod působených na faunu skládkovým plynem.

Poškození rostlin se projevuje většinou chlorózou, ztrátou listů a usycháním větví. Typickým pro vliv skládkového plynu je trpasličí vzrůst, povrchově a těsně podpovrchově rostoucí kořeny a někdy až totální odumření rostliny.

Většina rostlin vyžaduje v půdním vzduchu obsahy kyslíku alespoň 5-10 % objemu, některé dřeviny vyžadují až 12-14 % objemu kyslíku. Vlivy CO_2 , které se projevují fytotoxicky jako „dušení“ počínají od 5 % objemu CO_2 . Na terénech překryvů skládek, kde je poškození rostlin zcela markantní nalezneme v půdních plynech snadno i 20-25 % objemu CO_2 . Jako následek úplného biologického „vydýchání“ půdního

vzduchu můžeme nalézt koncentrace 7-14 % objemu CO_2 (zbytek kyslíku se vždy váže na vodu a část CO_2 zbývá také v podobě karbonátů).

Poškození vegetace je však spolehlivou indikací úniků, ale pouze u úniků větší intenzity. Úniky nízkých koncentrací plynu vedou pouze k chřadnutí vegetace nebo k trpasličímu růstu.

Negativní účinky bioplynu na rostliny při jeho šíření půdou má pouze CO_2 , a to ať již jde o CO_2 původní z bioplynu anebo o CO_2 vzniklý nově biooxidací methanu ve svrchních vrstvách zeminy. [2]

4. METODIKA STANOVENÍ EMISÍ METHANU Z NEZABEZPEČENÝCH SKLÁDEK

Skládky tuhých komunálních odpadů spadají v souladu se zákonem č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů, a dle Nařízení vlády č. 615/2006 Sb., o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, skládky odpadů přijímající více než 10 tun odpadu denně nebo s celkovou kapacitou větší než 25 000 tun (mimo skládky inertního odpadu) do kategorie střední zdroje znečišťování. [4]

Tyto skládky musí sledovat množství emisí unikající z povrchu tělesa skládky a zajistit jejich omezování. Methan je jednou z hlavních znečišťujících látek ovlivňujících stav ozonové vrstvy země. Stanovený emisní limit pro methan bude výrazně ovlivňovat náklady na provoz skládek odpadů. V příloze č. 1 k zákonu č. 86/2002 Sb. je stanoven poplatek 1 000,- Kč za tunu methanu vypuštěnou do ovzduší, a proto bude velmi důležité stanovit metodiku zjišťování emisí methanu ze skládek odpadů. [5]

4.1. Výpočtové metody zjištění emisí methanu

Jednou z možností stanovení emisí methanu ze skládek jsou výpočtové metody. Základem jsou druhy a množství ukládaných odpadů. Výpočet předpokládaného množství emisí z jednotlivých uložených odpadů je možno provést metodou podle Hogga a Mansella.

$$\text{Emise methanu} = \Sigma RC \times MRC \times e^{-kt}$$

RC = podíl rozložitelné uhlíkaté frakce

MRC = mineralizovaný podíl RC

t = čas

k = konstanta dynamiky rozkladu v čase.

Následující tabulka udává příklady hodnoty konstanty.

Tabulka č. 2: Příklady hodnoty konstanty [5]

Snadno rozložitelný substrát s poločasem rozkladu 1 rok	$k = 0,693 \text{ rok}^{-1}$
Středně rozložitelný substrát s poločasem rozkladu 5 let	$k = 0,139 \text{ rok}^{-1}$
Obtížně rozložitelný substrát s poločasem rozkladu 15 let	$k = 0,046 \text{ rok}^{-1}$

Druhou metodou je výpočet předpokládaného množství emisí methanu včetně časového výhledu pomocí zpracování plynové prognózy vývoje skládkového plynu podle modelu Rettenberger-Tabasaran. Množství emisí je vypočteno na základě množství, druhů, stáří uložených odpadů a způsobu jejich ukládání. Zpracování prognózy umožňuje zohlednit ve výpočtu i množství emisí z celkové produkce skládkového tělesa v závislosti na ošetření povrchu skládky – otevřený povrch, překryv zeminou, zatěsnění fólií atd.

Nevýhodu mají výpočtové metody stanovení emisí methanu ze skládek v teoretickém stanovení množství emisí. V závislosti na místních podmínkách jednotlivých skládek odpadů (např. stupeň hutnění povrchu odpadů, tvoření puklin na povrchu skládky s výrony bioplynu, vlhkost, homogenizace uložených odpadů apod.) se skutečné množství emisí methanu ze skládky odpadů ve skutečnosti může diametrálně lišit od výpočtů. [5]

4.2. Terénní měřicí metody zjištění emisí methanu

Metody vhodné pro experimentální sledování migrací a emisí skládkových plynů lze rozdělit dle místa a způsobu odběru vzorků na měření:

- a) nadpovrchová,
- b) povrchová,
- c) podpovrchová (do hloubek nepřesahujících cca 2 m),
- d) na vrtech a sondách (statická),
- e) na vrtech a sondách (výtoková),
- f) čerpací testy.

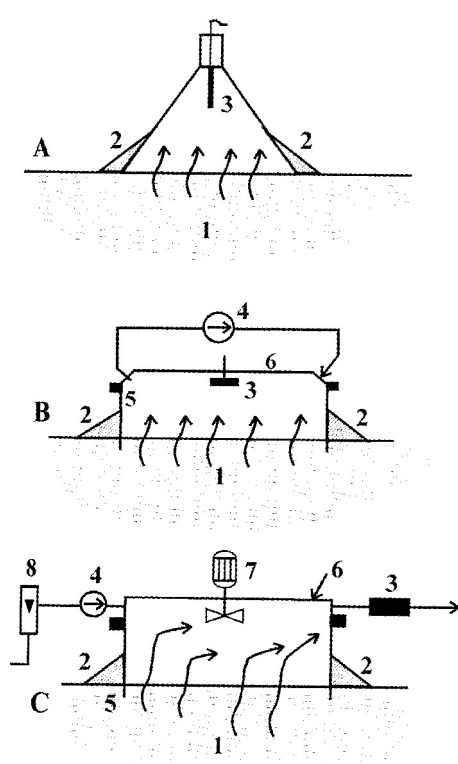
Při průzkumu skládkových těles se dnes používá hlavně povrchová a podpovrchová měření. Nadpovrchová měření se používají jen zřídka, a to s ohledem na nutnost použití velmi náročné instrumentální techniky, která je však schopna měřit velmi nízké koncentrace plynů ve vzduchu. Pro hodnocení stavu rozvoje procesů produkujících plyn uvnitř tělesa sládky byla vyvinuta a ověřena kombinovaná metodika povrchového průzkumu tělesa, jejíž princip je založen hlavně na sondáži a charakteristice koncentračních profilů sledovaných plynů v tělese skládky v hloubkách do 0,6 m, tedy v hloubkách, které již nejsou běžně ovlivňovány průnikem kyslíku.

Metoda povrchových průzkumů skládky se sestává z měření povrchových úniků a z měření na zárazných sondách. Vždy je ale třeba mít v mysli, že povrchové úniky mohou být výrazně ovlivněny změnami barometrického tlaku a kvalitou překryvu.

Jednou z metod stanovení emisního toku z povrchu skládek je měření povrchových úniků methanu. Jedná se o kvalitativní vyjádření toku methanu jednotkou plochy – tzv. flux-box metoda. Kontrola lokálních úniků plynu z tělesa skládky se provádí pomocí přenosného detektoru methanu, který se běžně užívá v plynárenské praxi ke zjišťování úniků a který je opatřen měřidlem koncentrace methanu. Měřicí sonda je používána k vyhledávání případných výronů plynu hlavně na trhlinách tělesa. Měření přímých úniků methanu se používá nejen k zjištění migrace povrchem skládky, ale i ke zjišťování koncentrací methanu v drenážních nebo jiných objektech v okolí anebo přímo na skládce.

Měření koncentrace methanu na povrchu skládky je prováděno pomocí tzv. flux-box metody. Flux-box metoda spočívá v měření migračních rychlostí methanu do uzavřeného prostoru na povrchu skládky, a to statickými a dynamickými postupy. Statické postupy analyzují změnu koncentrace methanu v měřeném prostoru v závislosti na čase, dynamické postupy sledují koncentraci methanu v průtočném systému při známých objemech vzduchu prosávaného skrze měřicí box (obrázek č. 3). [2]

Obrázek č. 3: Měření flux-box metodou [2]



Legenda:

- 1 – povrch odpadu (skládky)
- 2 – přidavné těsnění boxu
- 3 – čidlo anebo analyzátor methanu
- 4 – čerpadlo plynu
- 5 – rám boxu
- 6 – víko boxu
- 7 – míchadlo (ventilátor)
- 8 – průtokoměr

- A – „příložné“ statické měření (přenosné)
- B – „zabudované“ statické měření
- C – dynamické měření

Na základě výsledků měření je možno skládku zatřídit do pěti tříd úniků (viz tabulka č. 3).

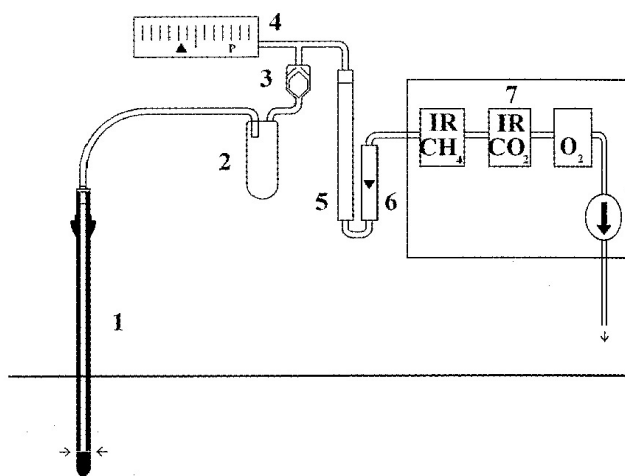
Tabulka č. 3: Zatřídění skládek dle úniků methanu [5]

pod 0,5 l CH ₄ /(m ² .h)	nulové a velmi slabé úniky
0,5 – 3 l CH ₄ /(m ² .h)	slabé úniky
3 – 20 l CH ₄ /(m ² .h)	střední úniky
20 – 75 l CH ₄ /(m ² .h)	silné úniky
nad 75 l CH ₄ /(m ² .h)	velmi silné úniky

Při užití vysoce citlivých prostorů můžeme ještě dále dělit skupinu nulové a velmi slabé úniky na úniky pod 50 µl CH₄/m².h, 50 – 5 000 µl CH₄/m².h a 5 – 500 ml CH₄/m².h. Úniky nad 20 l/m².h se běžně vyskytují pouze na trhlínách a poruchách vysoce produktivních skládek. [2]

Další terénní metodou měření skládkového plynu jsou podpovrchová měření na zárazných sondách. Základem této metody jsou odběry vzorků plynu z různých hloubek překryvu skládky a jejich následné analýzy, při které se sleduje obsah majoritních složek plynu: methanu, oxidu uhličitého, kyslíku a dusíku (dusík je stanoven dopočtem). Vzorek půdních plynů je odebírán ze zárazné sondy postupně z různých hloubek v rozmezí 0,2 – 0,6 m. Do tělesa skládky je provedena zárazná sonda, která svými nasávacími otvory ze sledované hloubky odsává plyn k analýze. Plyn ze sondy je analyzován kontinuálně přenosným analyzátozem, přičemž hodnoty koncentrací methanu a oxidu uhličitého jsou stanovovány přístroji pracujícími na principu IR-absorpce. [2]

Obrázek č. 4: Aparatura pro podpovrchovou sondáž [2]



Legenda:

- 1 – zárazná sonda
- 2 – pojistná nádobka
- 3 – zpětný ventil plovákový
- 4 – manovakuometr
- 5 – sušící věž
- 6 – rotametr
- 7 – sdružený analyzátor plynu

Hloubkové profily (gradienty) koncentrací plynu vypovídají o rozvoji procesů produkujících plyn tak, že s dostatečnou přesností je možno vyloučit vlivy barometrického tlaku, protože cílové hloubky přes 0,3 m již nejsou tímto výrazně ovlivňovány (pokud není povrch skládky nadměrně propustný či nedostatečně hutněný).

Plošná hustota sondáže postačující k vyhodnocení se pohybuje v rozmezí i 4-5 sond/ha, často se však provádí i 8-10 sond/ha. Hustota sondáže záleží na charakteru skládky, tvaru tělesa, vlastnostech překryvové vrstvy.

K vlastnímu vyhodnocení skládky se sestaví koncentrační profily skutečného složení plynu na jednotlivých sondách, přičemž kategorizace tělesa přihlíží jak k absolutním hodnotám koncentrace methanu, oxidu uhličitého a kyslíku, tak i ke gradientům koncentrací. Klíčový význam přitom mají koncentrace v hloubkách 40-60 cm. [2]

Použitím jednotlivých metod stanovení emisí (výpočtová metoda, povrchové a podpovrchové měření) odděleně není možné kvalifikovaně stanovit množství emisí methanu ze skládek odpadů. Kombinace výpočtové metody a terénních měření na podpovrchových zárazných sondách, doplněné měřením povrchových úniků methanu, se jeví jako nejspolehlivější pro kvalifikované stanovení množství emisí methanu. [5]

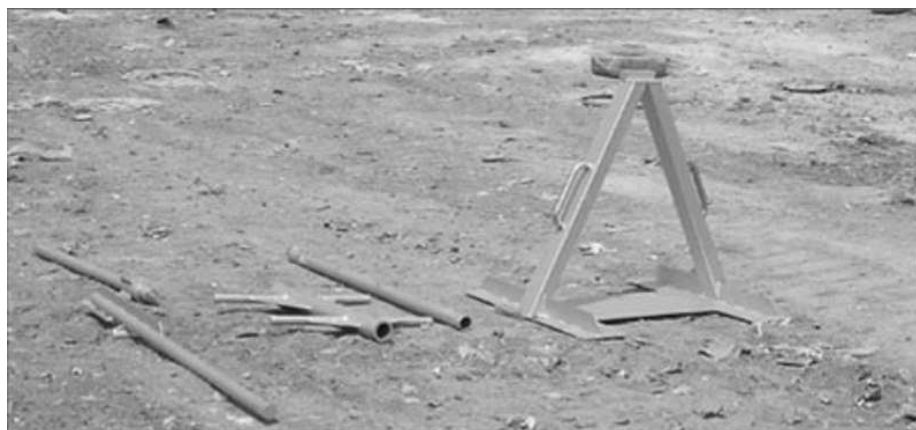
5. VYTVOŘENÍ NÁVRHU OPTIMALIZACE UMÍSTĚNÍ JÍMACÍCH VRTŮ PRO JÍMÁNÍ BIOPLYNU VČETNĚ METODIKY ODBĚRU

Návrh optimálního umístění jímacích vrtů pro jímání bioplynu na skládce tuhých komunálních odpadů ve Frýdku-Místku se týká V. etapy skládky. Tato etapa se nachází na parcelách č. 8117/7, 8022/1 a 8113/4, vše na katastrálním území Panské Nové Dvory. Stavba V. etapy probíhala v roce 2004 a provoz byl zahájen dne 25.11.2005. Předpokládané ukončení provozu je v roce 2015. Celková plocha V. etapy je 4,6 ha s kapacitou cca 469 000 m³.

Pátá etapa skládky je v současné době zavážena odpadem, a proto byla vybrána jako cíl mého měření. Třetí etapa, která je napojena na IV. etapu, je již rekultivovaná a odplyněná devíti vrty vystrojenými pro jímání plynu. Plyn je dodáván do areálu „Doprava“ společnosti Frýdecká skládka, a. s., kde je využit k výrobě elektrické energie. Tepelná energie, která vzniká v kogeneraci je využívána k vytápění a ohřevu užitkové vody a elektrická energie je prodávána do rozvodné sítě společnosti ČEZ, a. s. [6]

Cílem mého měření je zjistit základní složky skládkového plynu, tj. methanu, kyslíku, oxidu uhličitého a dusíku (tento bude stanoven dopočtem) a vytvořit emisní mapu, dle které bude možno optimálně řešit umístění vrtů pro jímání skládkového plynu z V. etapy skládky. Vzorky byly odebrány pomocí zárazné sondáže z referenční hloubky 60 cm pod povrchem (viz Obrázek č. 5)

Obrázek č. 5: Sonda pro odběr vzorku plynu včetně příslušenství
(převzato z časopisu Odpady, č. 1/2007)



Zaměření zárazných sond bylo provedeno pomocí přístroje GPS Garmin. Výsledný výkres se zanesenými souřadnicemi bodů, ve kterých se provádělo měření, je uveden v příloze. Do tělesa skládky je zaražena sonda, která svými nasávacími otvory ve špici odsává plyn, který je poté analyzován kontinuálně přenosným analyzátozem (viz obrázek č. 6).

Obrázek č. 6: Špice sondy s nasávacími otvory



Sonda pro odběr vzorku plynu včetně příslušenství (na zarážení sondy, vytahování atd.) byla zapůjčena od společnosti Frýdecká skládka, a. s., a byla vyrobena na základě článků a předloh nalezených v odborné literatuře. Sonda je poměrně lehká a skladná, její obsluha je jednoduchá.

Vzorek plynu byl odebíráán analyzátozem skládkového plynu AIR LF ASEKO GAS Analysers, který udává základní složky skládkového plynu, tj. methan, kyslík a oxid uhličitý. Dusík je dopočítáván do 100 % objemu. Ostatní složky jsem nevykazoval, neboť se vyskytují v zanedbatelných množstvích.

Na základě výsledků měření lze posoudit míru ekologické nebezpečnosti skládky a zejména lze získat údaje o kvalitě plynu a neoptimálnějších místech umístění vrtů pro jímání skládkového plynu.

5.1. Charakteristika skládkového tělesa

Zájmové území se nachází na severozápadním okraji Podbeskydských pahorkatin, při jihovýchodním okraji tzv. ostravské glacigenní pánve. Klimaticky náleží území do oblasti mírně teplé a mírně suché. Průměrná roční teplota v nejbližší klimatické stanici je 8,2 °C, průměrný roční úhrn srážek 911 mm a průměrný roční výpar z volné hladiny 416 mm. Převládající směr větru je z jihozápadu na severovýchod.

Skládka je situována cca 3 km severovýchodně od centra Frýdku-Místku na katastrálním území Panské Nové Dvory. Skládka je dostupná po živičné vozovce, odbočující z ulice Bruzovská (směrem na Panské Nové Dvory). Vzdálenost nejbližší zástavby je cca 400 m na západ.

I. etapa skládky byla vybudována v roce 1993, provoz byl zahájen 20.12.1993, skládkování bylo ukončeno v roce 1998. Celková plocha I. etapy skládky činila 2,5 ha s kapacitou 250 000 m³. V roce 2000 bylo na I. etapě provedeno odplynění, a to 5 jímacími vrty o průměru 600 mm a 3 zavlažovacími vrty, které slouží ke zpětnému vracení vody do tělesa skládky tak, aby skládka nevysychala. Součástí odplynění je i čerpací stanice, kde je prováděno měření množství a kvality plynu. Plyn je dopravován průmyslovým plynovodem mimo areál skládky, kde je využíván smluvním partnerem k výrobě elektrické energie, která je poté dodávána do veřejné sítě. Odpadní teplo je využíváno k vytápění areálu společnosti Frýdecká skládka, a. s. V roce 2001 byla dokončena technická rekultivace.

Stavba **III. etapy** probíhala v roce 1997, zahájení provozu bylo dne 15.12.1997 a provoz byl ukončen v roce 2001. Celková plocha III. etapy skládky byla 1,8 ha s kapacitou 252 000 m³ a je napojena na I. etapu. III. etapa byla podle způsobu technického zabezpečení a provozování zařazena do skupiny S III a byla určena pro skládkování komunálních odpadů a odpadů kategorie ostatní, jejichž vodný výluh nepřekročí limitní hodnoty výluhové třídy č. III. Součástí stavby byla i tzv. přítěžovací lavice, která slouží jako obslužná komunikace pro vrchní části I., III. a IV. etapy skládky a je nezbytná pro konečnou rekultivaci, provádění vrtných prací a celkovou péči o skládku. V rámci výstavby III. etapy skládky byla vybudována i jímka o objemu 1 000 m³, která shromažďuje průsakové vody ze skládek I., III. a IV. etapy.

IV. etapa skládky byla budována v roce 2000 a provoz na ní byl zahájen dne 27.11.2000. Celková plocha IV. etapy je 2,4 ha s kapacitou 290 000 m³. Tato etapa je podle způsobu technického zabezpečení a provozování zařazena do skupiny S-OO, a je

určena pro bezpečné skládkování odpadů kategorie "ostatní", jejichž přijetí nelze hodnotit na základě vodného výluhu a odpadů, jejichž vodní výluh nepřekračuje limitní hodnoty výluhové třídy č. III. dle vyhlášky č. 383/2001 Sb. Provoz na IV. etapě byl ukončen v roce 2006.

Výstavba **V. etapy** skládky započala v roce 2004 a provoz na ní byl zahájen dne 25.11.2005. Celková plocha V. etapy je 4,6 ha s kapacitou 469 000 m³. Pátá etapa řízené skládky komunálních odpadů je zařazena do skupiny S-003, tzn. je určena pro ukládání odpadů kategorie „ostatní odpad“ včetně odpadů s podstatným obsahem organických biologicky rozložitelných látek odpadů, které nelze hodnotit na základě jejich vodného výluhu dle vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. V rámci V. etapy byla vybudována oddělená „plocha pro biologickou úpravu odpadu“. Plocha pro biologickou úpravu odpadů slouží k úpravě biodegradabilních odpadů z Frýdecko-Místecka na materiál na technické zabezpečení skládky do tělesa skládky – překrývání odpadu a rekultivaci. Do substrátu nesmí být použita surovina (odpad), která po skončení biologického zrání bude mít charakter cizorodých látek. Kvalita vstupních odpadů se řídí podmínkami příjmu na skládku tuhých komunálních odpadů. Plocha pro biologickou úpravu je vodohospodářsky zabezpečena v rámci komplexního řešení vodního hospodářství skládky. Splachy jsou vsakovány přes drén do tělesa skládky. Provozní plocha je zpevněna silničními panely a je označena tabulí s názvem zařízení: "Plocha k biologické úpravě odpadů". Tabulka č. 4 udává odpady určené k ukládání na ploše k biologické úpravě odpadů. Průměrná roční kapacita je dána zpracováním cca 3 000 t odpadů ročně a roční výrobou cca 1500 t rekultivační hmoty. Hmotnostní rozdíl mezi vstupem a výstupem je dán odparem vody a fermentačními ztrátami při přeměně organických látek.

Tabulka č. 4: Odpady určené k ukládání na ploše k biologické úpravě odpadů [6]

02 01	Odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, myslivosti, rybářství
02 01 03	Odpad rostlinných pletiv
02 01 06	Zvířecí trus, moč a hnůj (včetně znečištěné slámy)
02 01 07	Odpady z lesnictví
02 02	Odpady z výroby a zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu
02 02 03	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 03	Odpady z výroby a zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, jedlých olejů, kávy a tabáku
02 03 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 05	Odpady z mlékárenského průmyslu

02 05 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 06	Odpady z pekáren a výroby cukrovinek
02 06 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 07	Odpady z výroby alkoholických a nealkoholických nápojů
02 07 02	Odpad z destilace lihovin
02 07 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
03 01	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku
03 01 01	Odpadní kůra a korek
03 01 05	Piliny, hobliny, odřezky, dřevo,
03 03	Odpad z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
03 03 01	Odpadní kůra a korek
03 03 08	Odpad z třídění papíru a lepenky určené k recyklaci
10 01	Odpady z elektráren a jiných spalovacích zařízení
10 01 03	Popílek ze spalování rašeliny a neošetřeného dřeva
17 05	Zemina, kameny a vytěžená hlšina
17 05 04	Zemina a kamení neuvedené pod 17 05 03
19 05	Odpady z aerobního zpracování pevných odpadů
19 05 03	Kompost nevyhovující jakosti
19 08	Odpady z čistíren odpadních vod jinde neuvedené
19 08 05	Kaly z čištění komunálních odpadních vod
19 09	Odpady z výroby vody pro spotřebu lidí
19 09 02	Kal z číření vody
20 01	Složky odděleného sběru (kromě odpadů uvedených v podskupině 15 01)
20 01 01	Papír a lepenka
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven
20 01 25	Jedlý olej a tuk
20 02	Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad
20 02 02	Zemina a kameny
20 03	Jiné komunální odpady
20 03 02	Odpad u tržišť
20 03 03	Uliční smetky
20 03 04	Kal ze septiků a žump

Těsnění podloží skládky je řešeno přirozenou těsnicí vrstvou v jílovitých hlínách až jílech o mocnosti větší než 1 m s filtračním součinitelem $k_f > 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$. Vlastní izolační vrstvu tvoří folie PEHD JUNIFOL tloušťky 1,5 mm. Tato folie je kryta geotextilií NETEX S 200-600g/m², na které je drenážní vrstva šterku frakce 16-32 mm. V této vrstvě jsou uloženy sběrné drény. Tloušťka drenážní vrstvy je 300 mm a je kryta další vrstvou geotextilie NETEX S. Přetížení a ochranu izolačních a drenážních vrstev tvoří 500 mm silná vrstva pneumatik. Uvnitř skládky je navrženo 13 větví sběrných drenů, vedených napříč dnem skládky, které jsou zaústěny do akumulární jímky (150 m³), ze které jsou průsakové vody přečerpávány do stávající akumulární nádrže (1000

m³). Srážkové vody jsou svedeny do odvodňovacího rigolu a zaústěny do místního recipientu. Předpokládaná životnost skládky je do 31.12.2015. [6]

5.2. Hydrologie okolí skládky

Společnost Frýdecká skládka, a. s., provozovatel skládky tuhých komunálních odpadů ve Frýdku-Místku, má povinnost monitorovat vliv stávající skládky na geoprostředí dle platné legislativy (např. zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, ČSN 83 8036 Skládání odpadů – Monitorování skládek, ČSN 83 8035 Skládání odpadů – Uzavírání a rekultivace skládek). Povinnost monitorovat kvalitu podzemních a povrchových vod vyplývá také z Provozního řádu řízené skládky odpadů Panské Nové Dvory.

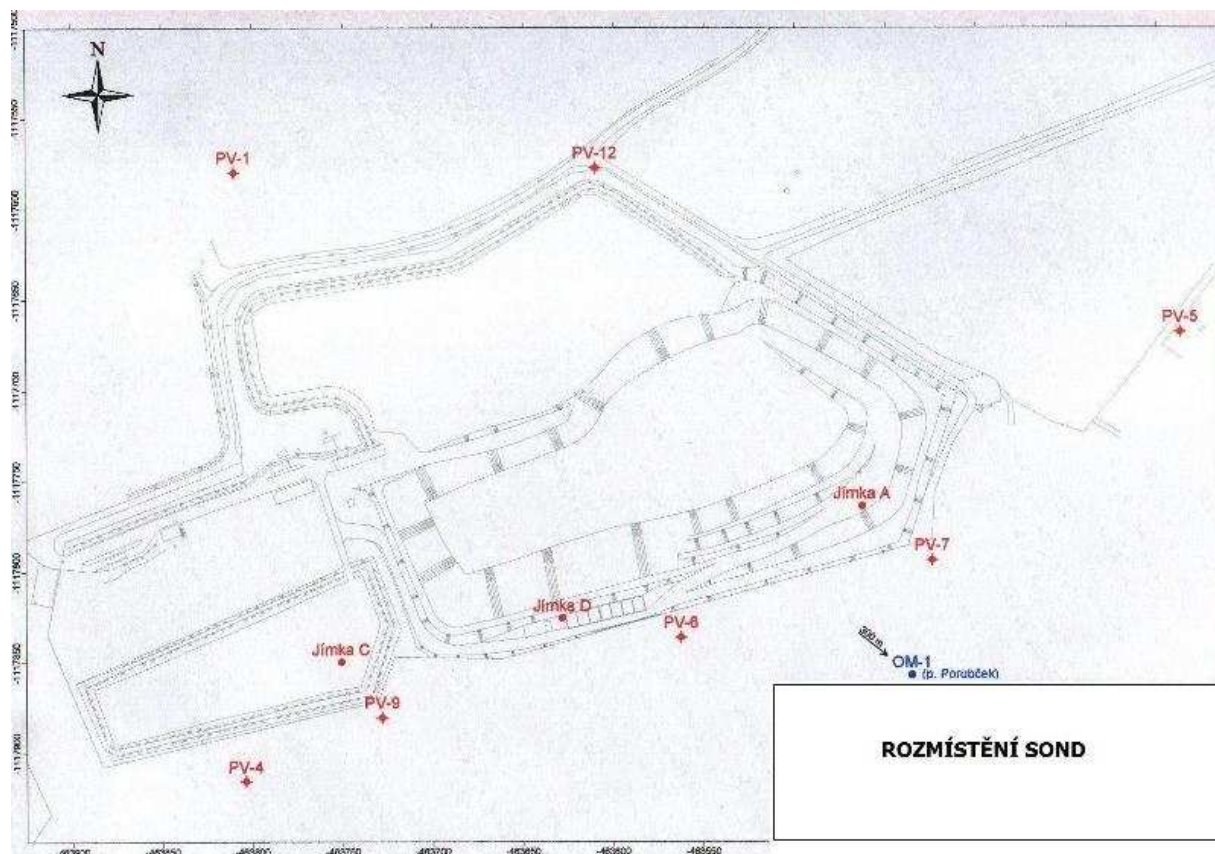
Smyslem monitorování je dokumentování kvality podzemní vody v okolí zabezpečené skládky tuhých komunálních odpadů, kontrola možného vlivu skládkování na okolní geoprostředí a zejména včasná indikace případné havarijní situace.

Monitorovací práce se provádějí v 3 měsíčním intervalu a odběr vzorků vod je realizován dle projektu monitorovacích prací z května 2007 na 7 odběrných místech. Odebrané vzorky jsou ihned dopravovány do laboratoře ke zpracování.

Na lokalitě Panské Nové Dvory byla pro optimální zhodnocení vlivu skládky tuhých komunálních odpadů na jakost podzemních a povrchových vod vybudována základní monitorovací síť vrtů a odběrných míst na povrchových vodotečích. Objekty monitorovací sítě jsou umístěny po obvodu skládky a lze je rozdělit na následující profily (viz obrázek č. 7):

- přítokový profil nad skládkou (PV-12),
- odtokový profil – podzemní voda (PV-4, PV-5, PV-6, PV-7, PV-9),
- odtokový profil – povrchová voda (drobná vodoteč na jihovýchodním okraji skládky označená jako “Porubček”),
- infiltrate ze skládky – jímka C (na II. etapě – prostor, kde se ukládají inertní materiály).

Obrázek č. 7: Rozmístění sond [7]



V rámci monitoringu provedeného dne 18.12.2007 byly odebrány vzorky podzemní vody z pozorovacích vrtů na přítokovém profilu PV-12, na odtokovém profilu PV-4, PV-5, PV-6, PV-7, PV-9, povrchová voda OM-1 “Porubček” a jímka C. Vzorky nebyly odebírány z jímky A a jímky D. K odběru bylo použito ponorného čerpadla. Z každého vrtu bylo v souladu s interní směrnici ISO C-001 “Odběr vzorků” odčerpáno tří až pětinašobné množství objemu vody. Povrchová voda byla odebírána vzorkovacím válcem z antikorové oceli a voda z jímky přímo z výtlačné hadice čerpadla rozstřikující jímanou vodu zpět na těleso skládky. Celkem bylo testováno 8 vzorků vod, z toho 6 vzorků podzemní vody, 1 vzorek povrchové a 1 vzorek průsakové vody.

Z analýzy vzorků vyplynulo, že na přítokovém profilu nebyla zjištěna zvýšená koncentrace žádných sledovaných polutantů – amonné ionty, dusitany, chloridy, olovo. Chemický rozbor všech ostatních vrtů nevykazoval překročení kritéria dle Metodického pokynu Ministerstva životního prostředí České republiky ze dne 31.7.1996 – Kritéria znečištění zemin a podzemní vody. Zvýšená koncentrace byla zjištěna pouze u PV-7, avšak zvýšené obsahy mají klesající tendenci. Speciální rozbor a hodnocení bylo

provedeno na jímce C, a to dle rozhodnutí tehdejšího Okresního úřadu Frýdek-Místek, referátu životního prostředí. Limitní hodnoty nebyly překročeny. [7]

5.3. Provozní podmínky skládky

Přejímka odpadů do zařízení a dokladování kvality přejímaných odpadů je prováděno v souladu s přílohou č. 1 vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

Řízená skládka se provádí jako hutněná s překrýváním vrstev zhutněných odpadů vrstvou krycího (technologického) materiálu. Množství technologického materiálu, přijatého na zajištění skládky za účelem jejího technologického zabezpečení, může dosahovat nejvýše 25 % objemu všech odpadů uložených na skládce za každý kalendářní rok. První vrstva odpadu na dně skládky nesmí obsahovat kameny a betonové kusy průměru nad 300 mm, které by mohly poškodit drenáž či těsnění skládky. Tato první vrstva je minimálně hutněna, aby byla schopna pojmout srážkovou vodu (efekt houby).

Skládkování probíhá od místa vjezdu na těleso skládky. Maximální mocnost zhutněné vrstvy odpadu bez překrytí krycím materiálem je 2 m, doporučená mocnost vrstvy krycího materiálu je 0,1 m. Běžná mocnost hutněné vrstvy odpadů je 0,3 až 0,5 m. Odpad je bezprostředně po jeho vysypání rozhrnut a materiály, u kterých je nebezpečí úletu, jsou ihned přehrnuty inertním materiálem nebo odpady typu kalů. Kal z čištění vody, který je zahrnut mezi technologické materiály, se používá jako těsnicí materiál a ostatní kaly se používají jako překryvový materiál. Všechny kaly musí být v rypném stavu. Zásoba krycího materiálu je připravena min. na jeden den dopředu.

Po obvodu skládky jsou s nadvyšováním odpadu budovány další ochranné zemní hráze z inertního materiálu tak, aby povrch odpadu byl vždy níže než koruna těchto hrází, a to v souladu s projektem rekultivace skládky. Technologické materiály, které nemají v daném období využití, jsou shromažďovány na vhodném místě a budou použity k dotvoření skládky před konečnou rekultivací.

Rozsah plochy určený pro denní ukládání odpadů je co možná nejmenší v závislosti na množství dováženého odpadu v daném dni tak, aby vždy došlo na konci směny k co možná nejlepšímu překrytí. V případě přerušení ukládání odpadů je celá plocha překryta, a to z důvodu, aby nedocházelo k úletům lehkých předmětů.

Všichni zaměstnanci skládky musí dodržovat bezpečnostní předpisy a veškeré technické předpisy a technologické postupy, aby byl zajištěn bezpečný a bezporuchový provoz skládky. Přesto může dojít k celé řadě havarijních situací – uložení nepovolených odpadů, požár, dešťový příval, vniknutí povrchových vod do skládky, výpadek elektrického proudu, nález nebezpečných předmětů, zjištění kontaminace vod v monitorovacím systému nebo jiná nestandardní zjištění na monitorovacím systému, přemnožení obtížného hmyzu nebo hlodavců apod., a obsluha skládky musí být na tyto situace dobře připravena – od vlastního zásahu až po hlášení na předepsaná místa. Postupy v případě vzniku všech těchto havarijních situací řeší „Provozní řád řízené skládky odpadu Panské Nové Dvory“. [6]

5.4. Měření složení skládkového plynu (metoda odběru)

Předmětem mého zkoumání, jak již bylo výše uvedeno, se stala V. etapa skládky tuhých komunálních odpadů ve Frýdku-Místku, a to pouze její část, na které bylo pozastaveno ukládání odpadů a povrch skládky byl překryt technologickým materiálem (viz obrázek č. 8).

Fotografie V. etapy skládky je pořízena z místa IV. etapy skládky a plocha mezi těmito etapami bude v budoucnu sloužit pro realizaci VI. etapy skládky. V přední části V. etapy skládky (při pohledu od IV. etapy skládky) nebyl povrch skládky ještě rekultivován (viz obrázek č. 9).

Obrázek č. 8: Foto V. etapy skládky TKO Frýdek-Místek (foto Jaroslav Zezula)



Obrázek č. 9: Nerekultivovaná část V. etapy skládky (foto Jaroslav Zezula)



Součástí části etapy, kde probíhalo měření, je i plocha pro biologickou úpravu odpadů, která slouží k úpravě biodegradabilních odpadů z Frýdecko-Místecka na materiál na technické zabezpečení skládky do tělesa skládky – překrývání odpadu a rekultivaci (viz obrázek č. 10).

Obrázek č. 10: Povrch části V. etapy skládky zavezený technologickým materiálem s plochou pro biologickou úpravu odpadů (foto Jaroslav Zezula)



Pro sledování tvorby a migraci skládkového plynu byla zvolena metoda zárazné sondáže. Tato metoda byla popsána v kapitole 4.2.

5.4.1. Zaměření míst pro umístění sond

Zaměření probíhalo dne 26.02.2008 v době od 13:20 hod. do 15:45 hod. V tento den bylo slunečno, teplota vzduchu byla 15 °C a mírně foukal vítr. Zaměření míst pro zárazné sondy bylo provedeno pomocí přístroje GPS (Global Positioning System - družicový radiový dálkoměrný systém) (viz obrázek č. 11 a 12). Do zákresu V. etapy skládky jsem zaznačoval vybraná místa, kam budou později umíst'ovány sondy.

Odborná literatura (např. od doc. Ing. Straky, CSc. – Bioplyn [2]) uvádí, že vzorek plynu ze zárazné sondy je odebírán z hloubky 0,2 – 0,6 m, přičemž minimální hloubka by měla činit aspoň 0,4 m, a to s ohledem na vliv barometrického tlaku. Abych vyloučil znehodnocení výsledků měření kolísáním barometrického tlaku, zvolil jsem optimální hloubku zarážení 0,6 m. S ohledem na velikost plochy, na které jsem prováděl měření (cca 0,9 ha), a s přihlédnutím k odborné literatuře, která uvádí hustotu sítě sond v rozmezí 4-5 sond/ha, často však 8-10 sond/ha, rozdělil jsem na předmětné ploše, resp. na nákresu celkem 10 sond. Tabulka č. 16 uvádí souřadnice daných 10 míst, ze kterých bude odsáván plyn.

Obrázek č. 11: Přístroj GPS (Foto Jaroslav Zezula)



Obrázek č. 12: Zaměření míst pro umístění zárazné sondy
(foto Ing. Lubomír Tararík)



Tabulka č. 5: Naměřené souřadnice pomocí přístroje GPS

č. s.	souřadnice	
	N (°)	EO (°)
1	49,69744	18,40084
2	49,69753	18,40133
3	49,69755	18,40187
4	49,69761	18,40216
5	49,69774	18,40249
6	49,69790	18,40272
7	49,69785	18,40304
8	49,69753	18,40239
9	49,69727	18,40202
10	49,69733	18,40141

S-JTSK		nadmořská výška (m.n.m.)
Y (m)	X (m)	
-463414,826	-1117591,255	339
-463378,760	-1117584,247	345
-463339,752	-1117585,300	347
-463318,344	-1117580,406	352
-463293,407	-1117567,996	349
-463275,379	-1117551,655	347
-463252,841	-1117559,134	348
-463302,556	-1117590,665	348
-463331,582	-1117617,241	349
-463374,876	-1117606,898	349

Zjištěné souřadnice byly poté zaneseny do mapy s geodetickým zaměřením povrchu skládky a vznikla mapa s reálnou sítí sond (viz Příloha č. 1). Souřadnice GPS byly převedeny na souřadnice S-JTSK pomocí převodníku, který lze bez problémů vyhledat na internetu. Pro převod souřadnic byl zvolen převodník na adrese www.xanadu.cz/apps/convertcoord/default.asp. Důvodem pro převod souřadnic byl

zejména fakt, že v programu, ve kterém jsem zpracovával emisní mapu s reálnou sítí sond, byla práce se souřadnicemi ve formátu S-JTSK snadnější.

Příloha č. 1 tedy zaznamenává množství a zaměření sond, které jsem navrhl jako místo pro umístění vrtů a kde bude současně prováděno měření množství produkce methanu.

5.5. Měření složení skládkového plynu

K měření složení skládkového plynu byla použita zárazná sonda, kterou měla společnost Frýdecká skládka, a. s., k dispozici a byla již s úspěchem použita. Jedná se o tyč, na kterou se namontuje vodící tyč s beranidlem, kterým se sonda zaráží do povrchu skládky. Po zaražení sondy do požadované hloubky se sundá beranidlo, vodící tyč odmontuje a do nitra tyče se vloží hadička. Hadička se připojí k analyzátoru skládkového plynu AIR LF ASEKO GAS Analysers. Skládkový plyn je do analyzátoru nasáván pomocí čerpadla. Po odebrání vzorku se sonda vytahuje pomocí tyče s řetězem, a to principem páky. Před dalším zaražením sondy se musí otvory, kterými se nasává plyn, vždy vyčistit. Celý postup se opakuje u každého místa (sondy). Postup měření přibližuje pořizovaná fotodokumentace (viz obrázky č. 13 až 18).

Obrázek č. 13: Čištění otvorů pro nasávání plynu (foto Jaroslav Zezula)



Obrázek č. 14: Zarážení sondy pomocí beranidla (foto Ing. Lubomír Tararík)



Obrázek č. 15: Měření plynu pomocí analyzátoru (foto Jaroslav Zezula)



Za účelem nastínění představy, v jakých vnějších podmínkách jsem měření prováděl, rozhodl jsem se po poradě s konzultantem své diplomové práce, že budu zaznamenávat barometrický tlak, teplotu ovzduší a rychlost větru. Tyto údaje jsem získal od Českého hydrometeorologického ústavu, pobočky Ostrava, automatizované klimatologické stanice Mošnov [8]

Měření jsem provedl dne 10.4.2008. Při měření mi asistoval ekolog společnosti Frýdecká skládka, a. s., pan Ing. Lubomír Tararík. V tento den bylo oblačno, ale svítilo sluníčko, foukal mírný vítr a teplota se pohybovala kolem 17 °C. Vzhledem k tomu, že předešlé dny byly také slunečné, byl povrch skládky suchý a pohyb po něm byl bezproblémový. Nedocházelo ani k ucpávání ventilů, kterými byl nasáván plyn.

První bod, kde se provedl odběr vzorků, byl v blízkosti příjezdové komunikace. Povrch byl pokryt směsným komunálním odpadem a nebyl ještě zhutněn. Zarážení sondy tedy nebyl problém. Povrch druhého a třetího místa nebyl stejně jako u prvního místa ještě zhutněn a opět šlo sondu hladce zarazit.

Na problém jsem narazil u ostatních sond, neboť se jednalo již o povrch zhutněný a zarážení sondy si vyžádalo použití větší síly. Přesto i na těchto bodech došlo k zarážení sondy a naměření hodnot. Při vytahování sond jsem se ale potýkal často s problémy. Sondy nešly pomocí tyče s řetězem vytáhnout. Obrázek č. 16 ukazuje, jak by měla být sonda vytahována. Bohužel vzhledem k dobře hutněnému povrchu to pouze použitím lidské síly nebylo možné a musel jsem často použít i krumpáč.

Obrázek č. 16: Vytahování sondy pomocí tyče s řetězem (systém páky)
(foto Jaroslav Zezula)



Abychom sondu vytáhli, museli jsme pomocí krumpáče odkopat povrch kolem sondy (viz obrázek č. 17).

Obrázek č. 17: Vytahování sondy pomocí krumpáče (foto Ing. Lubomír Tararík)



Vzhledem k tomu, že to bylo fyzicky náročné a zdlouhavé, povolali jsme na pomoc kompaktor, který na druhé části V. etapy právě prováděl rozhrabování naváženého odpadu (viz obrázek č. 18).

Obrázek č. 18: Vytahování sondy pomocí kompaktoru (foto Jaroslav Zezula)



I přes potíže s vytahování sondy se podařilo provést měření na všech deseti sondách. Znovu podotýkám, že dusík byl dopočítáván do 100 %. Výsledky z měření včetně údajů o teplotě vzduchu, tlaku a rychlosti větru jsem zanesl do tabulky č. 6.

Tabulka č. 6: Výsledky měření

č. s.	CH ₄ (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)	tlak vzd. (hPa)	teplota (°C)	rychlost větru (m/s)
1	15,3	2,1	37,0	45,6	977,20	13,3	7,5
2	36,5	3,2	29,8	30,6	978,70	14,8	8,7
3	52,0	1,1	33,0	13,9	979,30	15,8	8,7
4	49,8	1,6	36,0	12,6	980,60	16,0	4,5
5	53,0	1,4	27,5	18,1	979,80	17,3	6,2
6	54,6	1,5	41,9	2,0	980,00	18,9	7,7
7	40,4	2,3	33,9	23,4	979,80	19,4	9,0
8	46,5	7,0	36,8	9,7	979,60	20,1	8,1
9	51,1	1,1	38,8	9,0	979,70	20,2	7,4
10	52,3	1,0	34,4	12,3	979,90	19,3	5,9

U sondy č. 8 bylo naměřeno 7 % kyslíku, což mohlo být způsobeno vzduchovou kapsou. Ostatní naměřená data nevykazují žádné abnormality. Data o tlaku vzduchu, teplotě vzduchu a rychlosti větru byly získány od Českého hydrometeorologického ústavu, pobočky Ostrava – Poruba.

5.6. Faktory, které mohou ovlivňovat měření

Jedním z faktorů, které mohou ovlivňovat měření, je barometrický tlak. Povrchové úniky methanu jsou ovlivněny barometrickým tlakem vždy, a proto jsem také volil při měření metodu podpovrchového měření. Barometrický tlak je nutné vždy brát v úvahu při povrchovém měření flux-box metodou, neboť výrazně mění migrační rychlosti skládkového plynu. Jak se ukázalo při mém měření, byl vliv barometrického tlaku opravdu zanedbatelný.

Dalším faktorem je teplota ovzduší, neboť teploty do 1 m pod povrch skládkového tělesa jsou ovlivněny teplotou ovzduší. I tady se však ukázalo, že teplota ovzduší nebo např. rychlost větru nijak neovlivňovaly výsledky mého měření.

Co však do značné míry mohlo ovlivňovat měření a bylo při rozhodování, kdy měření provádět, byla srážková činnost. Vliv vody má na proces tvorby skládkového plynu blahodárny vliv, avšak nikoliv na provádění měření. Dešťová voda, která se ještě

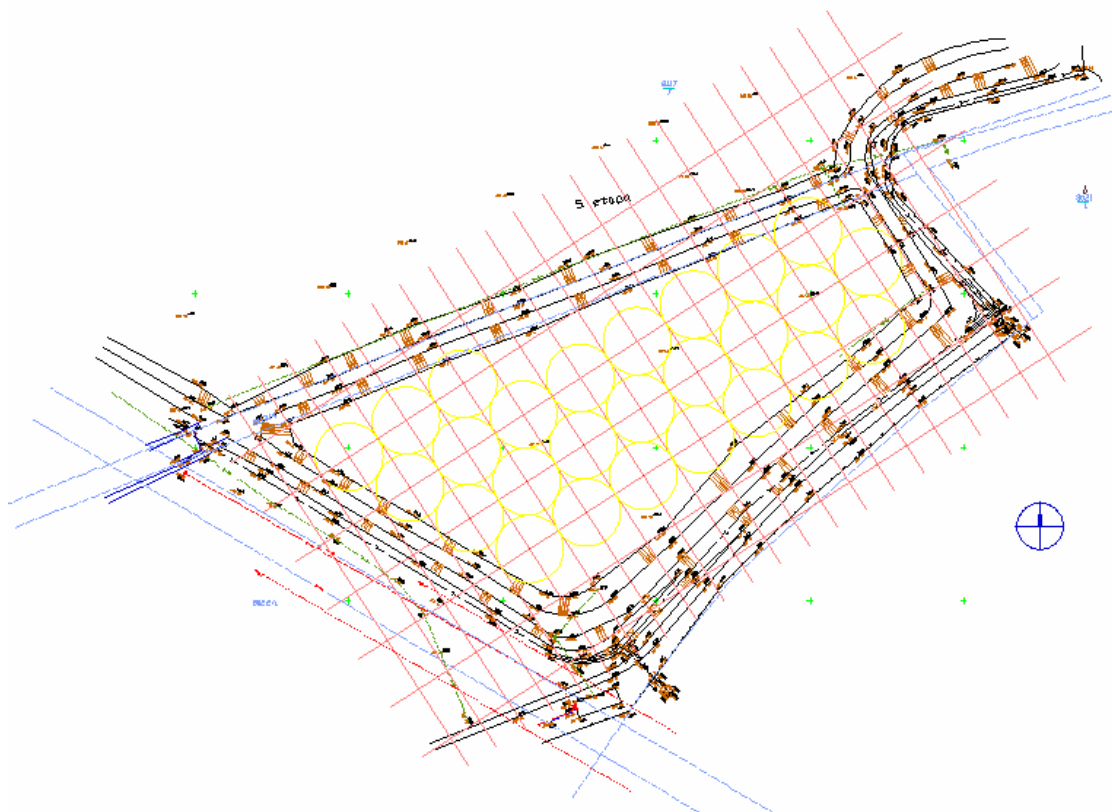
nestačí vsáknout do spodnějších vrstev skládky, by při měření způsobovala problémy. Zárazná sonda je zkonstruována tak, že ve spodní části je osm otvorů o velikosti 3 mm (v průměru), kterými se nasává půdní vzduch. V případě, že dochází ke měření ve vlhkém nebo mokřém prostředí, dochází k ucpání těchto otvorů a je nemožné cokoliv naměřit. Stejně tak by pohyb po takto promáčeném povrchu skládky nebo dokonce v době deště nebyl ideální.

Mohu tedy uvést, že žádný z výše uvedených faktorů neovlivnil výsledky mého měření, byť déšť často způsobil, že jsem musel ustoupit od plánovaného měření a toto měření pak provést jindy.

5.7. Optimální umístění jímacích vrtů

Polní test výskytu bioplynu tělesa skládky se provádí rozmístěním sond tak, aby pokryly celý povrch. Teorie udává 4-5 sond na hektar, často ale i 8-10 sond. Obrázek č. 19 ukazuje příklad rozmístění sond na tělese skládky a byl zpracovaný v programu „ProgeCAD 2008 Smart!“. Sondy na V. etapě skládky byly rozmísťovány zpravidla v rozmezí 30-40 m od sebe (s přihlédnutím k povrchu skládky). Tak vznikla síť sond, která pokryla povrch V. etapy skládky a je přílohou č. 1.

Obrázek č. 19: Příklad rozmístění sond



Výsledkem provedeného měření bylo vytvoření emisní mapy, která by v budoucnu mohla posloužit jako podklad pro rozhodnutí, kam umístit vrty pro jímání skládkového plynu. Mapy byly zpracovány v programu Surfer. Výskyt methanu zaznamenává emisní mapa, která je přílohou č. 2. Do emisních map jsem také zaznačil i výskyt oxidu uhličitého (příloha č. 3), výskyt kyslíku (příloha č. 4) a výskyt dusíku (příloha č. 5). Prováděné měření ukázalo, že body č. 1 a 2 nejsou vhodné pro umístění vrtu, a to s ohledem na nízký výskyt methanu. Ostatní místa naopak vykazovala uspokojivý výskyt methanu, a proto bych navrhoval rozmístit na V. etapě skládky sondy dle přílohy č. 6. V budoucnu lze očekávat, že ze sond 3 – 10 bude odčerpáno nejvýše možné množství vytvořeného skládkového plynu na V. etapě skládky.

6. VYHODNOCENÍ

Výsledkem vyhodnocení plynometrického průzkumu je zařídění skládky do jedné ze tří kategorií podle průměrné analýzy plynu v hloubce pod 40 cm.

KATEGORIE I.

Skládka s nulovým anebo velmi slabým vývinem plynu. Do této kategorie se zařazují skládky s minimálními a nulovými povrchovými úniky a s obsahem methanu na cílových hloubkách pod hranicí 7,4 % objemu.

KATEGORIE II.

Skládka s vývinem plynu slabým až středně silným. Do této kategorie se zařazují tělesa, na nichž se v cílových hloubkách pohybují střední hodnoty obsahů methanu nad 7,4 %. Z naměřených údajů vyplývá, že ve skládce se plyn evidentně tvoří, přičemž příčina slabšího vývinu může být následující:

- skládka je příliš stará,
- skládka je příliš mladá,
- skládka je nedostatečně hutněna, popř. příliš mělká nebo příliš porézní,
- skládka je intoxikována průmyslovými odpady,
- skládka má nedostatek vlhkosti,
- organické odpady jsou příliš zředěny inertním materiálem.

KATEGORIE III.

Skládka je výrazným producentem plynu. Obsahy methanu v cílových hloubkách mělké sondáže se pohybují nad 35 % objemu a výjimkou nejsou obsahy přes 60 nebo dokonce přes 70 % objemu.

U skládek II. kategorie je třeba posoudit i jejich další vývoj, který může směřovat ke kategorii I. nebo III. Obecně lze dělit skládky II. kategorie na podskupiny: II. A – skládky s degresivní prognózou, tj. že skládka pravděpodobně zůstane v kategorii II. nebo klesne do kategorie I. nebo II. B – skládky s progresivní prognózou, kdy se očekává přechod do kategorie III., neboť jsou předpoklady pro nárůst tvorby plynu. [2]

6.1. Výpočet průměrné produkce CH_4 z 1 m^2 plochy

Abych vypočítal průměrnou produkci methanu z 1 m^2 plochy, kde jsem prováděl měření, musel jsem nejdříve vypočítat plochu V. etapy skládky. Pro výpočet jsem nemohl počítat s celkovou plochou 4,6 ha dle provozního řádu. Naměřené hodnoty CH_4 na jednotlivých sondách jsem poté vynásobil průměrnou plochou na 1 sondu; tuto průměrnou plochu na 1 sondu jsem získal tak, že jsem vydělil plochu V. etapy počtem sond (v mém případě tedy číslem 10). Výsledná čísla jsem sečetl a vydělil celkovou plochou V. etapy skládky, čímž jsem dostal průměrnou produkci CH_4 .

$$\text{Plocha V. etapy skládky} = 9\,100 \text{ m}^2$$

$$\text{Průměrná plocha na 1 sondu} = 910 \text{ m}^2$$

$$(\text{plocha V. etapy skládky} / \text{počet sond, tj. } 9\,100 \text{ m}^2, \text{ tj. } 910 \text{ m}^2 / 10)$$

$$\text{Průměrná produkce } \text{CH}_4 \text{ z } 1 \text{ m}^2 = 45,14\%$$

V. etapa skládky, kde probíhalo měření, je dle vypočteného výsledku průměrné tvorby methanu 45,14 % skládkou kategorie III. a je významným producentem plynu. Odborná literatura (např. [2]) uvádí, že se složení plynů ze zárazných sond přepočte na formální složení, které plyn hodnotí podle zjednodušených předpokladů na 4 složky:

- 1) „čistý bioplyn“, tj. modelový plyn ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) standardního složení odpovídající vyšším obsahům methanu dosahovaných při anaerobní digesti,
- 2) **nezměněný vzduch**,
- 3) „vydýchaný vzduch“, tj. plyn vzniklý jako zbytek po spotřebování kyslíku z přísátého vzduchu; tato složka je tvořena N_2 a CO_2 ,
- 4) **plyn z acidogenních procesů.**

Toto tzv. formální složení plynu dobře charakterizuje procesy probíhající v tělese skládky. Výpočet formalizovaného složení skládkového plynu vychází z těchto zjednodušujících předpokladů:

- 1) dusík v tělese skládky pochází pouze ze vzduchu; argon ze vzdušného dusíku je započten jako dusík,
- 2) pro složení „čistého“ (modelového) bioplynu je třeba stanovit pevné referenční obsahy jeho komponent a jako modelový „čistý bioplyn“ byla zvolena binární směs: CH_4 – 74% objemu, CO_2 – 26% objemu,

- 3) vzduch v původním stavu je reprezentován zjednodušeným složením (bez CO_2): $\text{O}_2 - 20,9\%$ objemu, $\text{N}_2 - 79,1\%$ objemu (včetně argonu),
- 4) „spotřebovaný“ vzduch je představován jako plynná směs CO_2 a N_2 , přičemž z původně přítomného kyslíku je 50% konvertováno na CO_2 (zbytek kyslíku byl spotřebován na organickou hmotu a H_2O) a modelové složení zbytku vzduchu po takovéto spotřebě kyslíku je: $\text{CO}_2 - 11,7\%$ objemu, $\text{N}_2 - 88,3\%$ objemu,
- 5) plyn z acidogenních procesů je brán jako čistý 100% CO_2 ,
- 6) skládkový plyn je pouze čtyřsložkovou směsí: CH_4 , CO_2 , N_2 a O_2 ,
- 7) koncentrace reálných složek ve skládkovém plynu jsou v molových (objemových) procentech označeny:

$$\text{CH}_4 \dots c_M, \text{CO}_2 \dots c_C, \text{N}_2 \dots c_N, \text{O}_2 \dots c_O$$

Koncentrace formálních složek ve skládkovém plynu jsou rovněž v molových (objemových) procentech označeny:

nezměněný vzduch (NV)..... c_A

$$\text{vyjádřeno vzorcem: } c_A = \frac{1}{0,209} \times c_O$$

„čistý bioplyn“ (BP)..... c_B

$$\text{vyjádřeno vzorcem: } c_B = \frac{1}{0,74} \times c_M$$

„spotřebovaný“ vzduch (SV)..... c_X

$$\text{vyjádřeno vzorcem: } c_X = \frac{1}{0,883} \times \left(c_N - \frac{0,791}{0,209} \times c_O \right)$$

„acidogenní“ plyn (AP)..... c_F

$$\text{vyjádřeno vzorcem: } c_F = c_C - \frac{0,26}{0,74} \times c_M - \frac{0,117}{0,883} \times \left(c_N - \frac{0,791}{0,209} \times c_O \right)$$

Samozřejmě platí, že:

$$c_O + c_M + c_N + c_C = 100\%$$

$$c_A + c_B + c_X + c_F = 100\%$$

Tabulka č. 7: Výpočet formalizovaného složení skládkového plynu

č. s.	Čistý bioplyn (BP)	Acidogenní plyn (AP)	Spotřebovaný vzduch (SV)	Nezměněný vzduch (NV)
1	20.68	26.64	42.64	10.05
2	49.26	14.55	20.88	15.31
3	70.27	13.44	11.03	5.26
4	67.30	17.64	7.41	7.66
5	71.62	7.18	14.50	6.70
6	73.78	26.60	-7.56	7.18
7	54.57	17.77	16.65	11.00
8	62.84	22.69	-19.02	33.49
9	69.05	20.21	5.48	5.26
10	70.68	14.90	9.64	4.78

Z tohoto přepočtu vyplývá, že V. etapa skládky je ve stavu methanogenní fáze stabilizované. Skládka je připravena k aktivnímu čerpání, a proto bych navrhol připojit tuto etapu na stávající odplyňovací systém.

6.2. Využití bioplynu – prodej elektrické energie do sítě ČEZ

Na skládce tuhých komunálních odpadů ve Frýdku-Místku, kterou provozuje Frýdecká skládka, a. s., jsou v současné době instalovány dvě kogenerační jednotky. Jednou z jednotek je TEDOM Cento L150 SP BIO, která byla spuštěna v roce 2004 a druhou je kogenerační jednotka ČKD Hořovice uvedená do provozu v roce 2007. Na uvedené skládce byla dále zkoušena na provoz chudé methanové směsi kogenerační jednotka TEDOM 22 PLUS A, která však byla v prosinci 2007 odstavena pro neopravitelnou poruchu. Skládkový plyn je ze skládky odčerpáván pomocí jímacích studen a sběrného potrubí, odkud je přes čerpací stanici dopravován potrubím do kogeneračních jednotek. Plyn je pak využíván kogeneračními jednotkami k výrobě elektřiny a tepla. Vyrobená elektřina je dodávána do sítě ČEZ, tepelnou energií je vytápěn objekt společnosti Frýdecká skládka, a. s., na Panských Nových Dvorech. [9]

V roce 2007 bylo vyrobeno prostřednictvím těchto kogeneračních jednotek celkem 1 080 969 kWh elektrické energie. Kogenerační jednotka Tedom Cento L150 SP BIO vyrobila celkem 583 525 kWh elektrické energie, kogenerační jednotka ČKD vyrobila 358 730 kWh elektrické energie a kogenerační jednotka TEDOM 22 PLUS A vyrobila za rok 2007 celkem 138 714 kWh elektrické energie. Elektrická energie z kogenerační jednotky TEDOM 22 PLUS A však nebyla dodávána do sítě ČEZu, ale byla využívána v areálu společnosti Frýdecká skládka, a. s. Jak již bylo uvedeno,

elektrická energie je distribuována do sítě ČEZ. Na internetových stránkách Energetického regulačního úřadu jsem vyhledal Cenové rozhodnutí č. 8/2006, které pod bodem 1.6. stanoví výkupní cenu pro spalování bioplynu, skládkového plynu, kalového plynu a důlního plynu z uzavřených dolů. Výkupní cena pro rok 2007 u kogenerační jednotky uvedené do provozu před datem 1.1.2004 byla stanovena ve výši 2,67 Kč/kWh, u kogenerační jednotky uvedené do provozu po 1.1.2006 ve výši 2,27 Kč/kWh. Z těchto dat můžeme vypočítat výnos z prodeje elektrické energie (viz tabulka č. 8)

Tabulka č. 8: Výpočet výnosů z prodeje elektrické energie

Kogenerační jednotka	Výroba el. energie (kWh)	Sazba (Kč/kWh)	Výnos z prodeje (Kč)
TEDOM Cento L150 SP BIO	583 525	2,67	1 558 011,80
ČKD Hořovice	358 730	2,27	814 317,10
Celkový výnos z prodeje elektrické energie			2 372 328,90
Celkový výnos z prodeje elektrické energie včetně 19% DPH			2 823 071,40

Celkový výnos z prodeje elektrické energie je výnos bez započtení nákladů spojených s náklady na servis, obsluhu a údržbu zařízení.

K zisku můžeme připočítat ještě úsporu nákladů za nákup elektrické energie ze sítě při využití elektrické energie z kogenerační jednotky TEDOM 22 PLUS A. Vzhledem k tomu, že areál Frýdecké skládky, a. s., spotřebuje celou produkci elektrické energie z této kogenerační jednotky, tj. 138 714 kWh, a ze sítě odebírá elektrickou energii v průměru za cenu 3,50 Kč, pak můžeme vyčíslit hrubou úsporu nákladů ve výši **485 499,- Kč**, bez odečtení nákladů na opravy a údržbu tohoto zařízení.

Cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu č. 7/2007 byla pro rok 2008 stanovena pod bodem 1.6. výkupní cena pro spalování bioplynu, skládkového plynu, kalového plynu a důlního plynu z uzavřených dolů ve výši 3,90 Kč/kWh, resp. 3,30 Kč/kWh, a to v závislosti na druhu biomasy, ze které bude elektřina v bioplynové stanici vyrobena. Společnost Frýdecká skládka, a. s., bude v roce 2008 prodávat vyrobenou elektrickou energii za cenu ve výši 2,74 Kč/kWh (kogenerační jednotka byla uvedena do provozu před rokem 2004), resp. za cenu ve výši 2,33 Kč/kWh (kogenerační jednotky uvedené do provozu od 1.1.2006).

6.3. Modelový případ výběru kogenerační jednotky a prodeje elektrické energie pro V. etapu skládky

Frýdecká skládka, a. s., odčerpá z I., III. a IV. etapy skládky za den zhruba 2 300 m³ plynu při průměrné koncentraci plynu s obsahem 55 % methanu. V současné době je umístěno na těchto etapách celkem 21 vrtů, což představuje 109,5 m³ plynu získaného z jednoho vrtu. Pro potřeby následujících výpočtů pomineme kolísání produkci plynu a jeho výhřevnost. Z provedeného měření a dle doporučení by měla být část V. etapy skládky odplyněna 8 vrty. Budeme-li považovat produkci 109,5 m³ plynu za neměnnou, osm nových vrtů na V. etapě skládky pak představuje 876 m³ odčerpaného plynu denně. Vydělením této denní produkce 24 hodinami, dostaneme spotřebu plynu za hodinu, tj.

$$876 \text{ m}^3/24 \text{ hodin} = 36,5 \text{ m}^3/\text{hod.}$$

Na základě tohoto výpočtu jsem na stránkách společnosti TEDOM s.r.o. se sídlem v Třebíči (<http://www.tedom.cz>), v sekci „Naše produkty – Malá a střední kogenerace“, vyhledal odpovídající kogenerační jednotku, která by z odčerpávaného plynu vyráběla elektrickou energii. V nabídce nejlépe vyhovovala kogenerační jednotka s názvem Cento T80 SP BIO, s elektrickým výkonem 81 kW, tepelným výkonem 122 kW a spotřebou plynu 37,2 m³/hod.

Výběrem kogenerační jednotky pak lze jednoduše zjistit zisk z prodeje vyrobené elektrické energie, a to za předpokladu, že výkon kogenerační jednotky bude ve výši 75 kW elektrické energie za hodinu (výkon není stálý, závisí na produkci plynu a jeho výhřevnosti) a kogenerační jednotka bude v provozu 333 dní v roce. Zbylé dny jsou počítány jako odstávka kogenerační jednotky z důvodu servisu. Denní výroba elektrické energie tak bude činit 1 800 kW a vynásobením 333 dní dostáváme celkovou výrobu elektrické energie za rok, tj.

$$1\,800 \text{ kW za } 1 \text{ den} \times 333 \text{ dní} = 599\,400 \text{ kW.}$$

Jak bylo uvedeno výše, pro rok 2008 byla stanovena výkupní cena ve výši 2,33 Kč/kWh. Přepokládaný výnos z prodeje elektrické energie v tomto případě udává tabulka č. 9.

Tabulka č. 9: Předpokládaný výnos z prodeje elektrické energie – V. etapa skládky

Kogenerační jednotka	Výroba el. energie (kWh)	Sazba (Kč/kWh)	Výnos z prodeje (Kč)
TEDOM Cento T80 SP BIO	599 400	2,33	1 396 602,00
Celkový výnos z prodeje elektrické energie			1 396 602,00
Celkový výnos z prodeje elektrické energie včetně 19% DPH			1 661 956,30

Od výnosů z prodeje je ale třeba odečíst výši servisních nákladů a výši mzdových nákladů pracovníka, který kontroluje provozní hodnoty, náklady na revize apod. Servis kogeneračních jednotek zajišťuje po dohodě s provozovatelem výrobce. Jedná se o komplexní servis a většinou je prováděn na základě servisní smlouvy a je placen paušální platbou nebo je prováděn na objednání. U kogenerační jednotky, která využívá jako palivo bioplyn činí paušál 0,40 Kč za každý vyrobený kW elektrické energie. Sazba je fixní a neměnná v čase. Servis kogenerační jednotky, která vyrobí 599 400 kWh elektrické energie tak činí 239 760,- Kč (0,40 Kč x 599 400 kWh).

Kontrolu a případně výměnu oleje provádí zaměstnanec společnosti Frýdecká skládka, a. s., a nevěnuje se jí déle než 1 hodinu denně. Náklady na hodinu práce pracovníka včetně odvodů sociálního a zdravotního pojištění činí 90,- Kč. V případě 22 pracovních dnů v měsíci a za předpokladu, že se mzdy ročně nezvyšují, činí roční mzdové náklady pracovníka 23 760,-Kč.

Odečtením servisních a mzdových nákladů pak dostáváme předpokládaný zisk z prodeje elektrické energie kogenerační jednotky, vybrané pro výrobu elektrické energie z bioplynu na V. etapě skládky – viz tabulka č. 10.

Tabulka č. 10: Zisk z prodeje elektrické energie

Popis	Částka (Kč bez DPH)
Výnos z prodeje elektrické energie	1 396 602,00
Servisní náklady	- 239 760,00
Mzdové náklady	- 23 760,00
Zisk z prodej elektrické energie	1 133 082,00

7. ZÁVĚR

V současné době připravuje Ministerstvo životního prostředí České republiky návrh novely zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, dle kterého budou s účinností od 1.1.2010 obce povinny sbírat odděleně biologicky rozložitelný odpad. Toto opatření povede ke snížení množství odpadů ukládaných na skládkách, což se projeví v poklesu produkce skládkového plynu. Omezování ukládání odpadů na skládky již ale řeší Plán odpadového hospodářství České republiky. Ve svých cílech má snížení hmotnostního podílu odpadů ukládaných na skládky o 20 % do roku 2010 ve srovnání s rokem 2000 a s výhledem dalšího postupného snižování. Cílem je i snížit maximální množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů ukládaných na skládky tak, aby podíl této složky činil v roce 2010 nejvíce 75 % hmotnostních, v roce 2013 nejvíce 50 % hmotnostních a výhledově v roce 2020 nejvíce 35 % hmotnostních z celkového množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu vzniklého v roce 1995. To jasně ukazuje, že v budoucnu bude postupně docházet ke stále menší možnosti využívání methanu. Přesto je ale zřejmé, že skládky budou produkovat ještě dostatek skládkového plynu, který bude možné v budoucnu využít.

Na základě provedených měření byla zpracována mapa koncentrace methanu, kyslíku, oxidu uhličitého a dusíku ve skládkovém plynu. Mapa koncentrace methanu, která je výsledkem mé práce, poslouží v budoucnu jako podklad pro nejvhodnější umístění vrtů pro jímání skládkového plynu. Na základě této mapy jsem pak vytvořil mapu, která znázorňuje optimální místa pro umístění vrtů pro jímání skládkového plynu.

Doporučuji provést odplynění V. etapy a napojení na odplynovací systém co nejdříve a využít tak produkci methanu z této etapy. Vzhledem k tomu, že V. etapa na základě provedeného měření byla zařazena do kategorie III., lze očekávat zvýšení zisku z prodeje elektrické energie. Teplo je již v současné době využíváno k vytápění objektů a k ohřevu vody v areálu skládky společnosti Frýdecká skládka, a. s. Dle provedeného výzkumu dochází na V. etapě skládky tuhých komunálních odpadů k tvorbě skládkového plynu v dostatečném množství a kvalitě pro jeho další využití.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STRAKA, František, *Tvorba plynu ve skládkách tuhých komunálních odpadů: Chování skládek TKO a metody jejich testování*, 1. vyd., Praha: ČSAV, 1993. 205 s.
- [2] STRAKA, František a autorský kolektiv, *Bioplyn*, 2. roz. a dopl. vyd., Praha: GAS s.r.o. 2006. 706 s. 80-7328-090-6
- [3] SHULZ, Heinz, EDER, Barbara, *Bioplyn v praxi: Teorie – projektování – stavba zařízení – příklady*. 1. české vydání. Ostrava : HEL, 2004. 168 s. 80-86167-21-6
- [4] Zákon č. 82/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů vč. Nařízení vlády č. 615/2006 Sb., o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- [5] SOBEK, Michal. Stanovení emisí methanu ze skládek odpadů. *Odpady*, 2004, č. 12, s. 12.
- [6] TARARÍK, Lubomír; KUČÍK, Rafael, *Provozní řád řízené skládky odpadů Panské Nové Dvory*, duben 2006, 49 s.
- [7] G-Consult, spol. s r.o. *Frýdek-Místek, Frýdecká skládka – monitoring 2007-2008*. 3. dílčí komentář. Ostrava : G-Consult, spol. s r.o., 2008. 9 s.
- [8] Český hydrometeorologický ústav se sídlem v Praze – meteorologická data (tlak vzduchu, teplota a rychlost větru)
- [9] OCHODEK, Tadeáš; KOLONIČNÝ, Jan; BRANC, Michal, *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*, 1. vydání. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. 228 s. 978-80-248-1426-1

- [10] Zákon č. 185/2005 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, včetně souvisejících vyhlášek
- [11] <http://www.eru.cz> – stránky Energetického regulačního úřadu
- [12] <http://www.env.cz> – stránky Ministerstva životního prostředí České republiky
- [13] <http://www.tedom.cz>
- [14] <http://www.biom.cz> – stránky Českého sdružení pro biomasu
- [15] <http://www.bioplyn.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°C	stupeň Celsia
Ca	vápník
CO ₂	oxid uhličitý
ČSN	česká technická norma
DPH	daň z přidané hodnoty
GPS	Global Positioning Systém
H ₂	vodík
H ₂ S	sulfan
ha	hektar
hPa	hektoPascal
CH ₄	methan
K	draslík
kg	kilogram
km	kilometr
kW	kiloWatt
kWh	kiloWatthodina
l	litr
m	metr
m ²	metr čtvereční
m ³	metr krychlový
Mg	hořčík
mg	miligram
mm	milimetr
N ₂	dusík
N ₂ O	oxid dusný
Na	sodík
NH ₄	amoniak
O ₂	kyslík
Pa	Pascal (fyzikální jednotka tlaku)
pH	potential of hydrogen (kyselost)
s	sekunda

Sb. Sbírký

S-JTSK souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

t tuna

TKO skládka tuhých komunálních odpadů

μl mikrolitr

SEZNAM TABULEK

- Tabulka č. 1: Příklad zatřídění jednotlivých biologicky rozložitelných podílů v hlavních frakcích odpadu [1]
- Tabulka č. 2: Příklady hodnoty konstanty [5]
- Tabulka č. 3: Zatřídění skládek dle úniků methanu [5]
- Tabulka č. 4: Odpady určené k ukládání na ploše k biologické úpravě odpadů [6]
- Tabulka č. 5: Naměřené souřadnice pomocí přístroje GPS
- Tabulka č. 6: Výsledky měření
- Tabulka č. 7: Výpočet formalizovaného složení skládkového plynu
- Tabulka č. 8: Výpočet výnosů z prodeje elektrické energie
- Tabulka č. 9: Předpokládaný výnos z prodeje elektrické energie – V. etapa skládky
- Tabulka č. 10: Zisk z prodeje elektrické energie

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek č. 1: Rozdíly v horizontální a vertikální propustnosti tělesa skládky [1]
- Obrázek č. 2: Pohyb vody v tělese skládky [2]
- Obrázek č. 3: Měření flux-box metodou [2]
- Obrázek č. 4: Aparatura pro podpovrchovou sondáž [2]
- Obrázek č. 5: Sonda pro odběr vzorku plynu včetně příslušenství
- Obrázek č. 6: Špice sondy s nasávacími otvory (foto Jaroslav Zezula)
- Obrázek č. 7: Rozmístění sond [7]
- Obrázek č. 8: Foto V. etapy skládky TKO Frýdek-Místek (foto Jaroslav Zezula)
- Obrázek č. 9: Nerekultivovaná část V. etapy skládky (foto Jaroslav Zezula)
- Obrázek č. 10: Částečně rekultivovaný povrch části V. etapy skládky s plochou pro biologickou úpravu odpadů (foto Jaroslav Zezula)
- Obrázek č. 11: Přístroj GPS (Foto Jaroslav Zezula)
- Obrázek č. 12: Zaměření míst pro umístění zárazné sondy (foto Ing. Lubomír Tararík)
- Obrázek č. 13: Čištění otvorů pro nasávání plynu (foto Jaroslav Zezula)
- Obrázek č. 14: Zarážení sondy pomocí beranidla (foto Ing. Lubomír Tararík)
- Obrázek č. 15: Měření plynu pomocí analyzátoru (foto Jaroslav Zezula)

Obrázek č. 16: Vytahování sondy pomocí tyče s řetězem (systém páky) (foto Jaroslav Zezula)

Obrázek č. 17: Vytahování sondy pomocí krumpáče (foto Ing. Lubomír Tararík)

Obrázek č. 18: Vytahování sondy pomocí kompaktoru (foto Jaroslav Zezula)

Obrázek č. 19: Příklad rozmístění sond

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Podrobná situace zájmového území s reálnou sítí sond

Příloha č. 2: Mapa koncentrace methanu ve skládkovém plynu

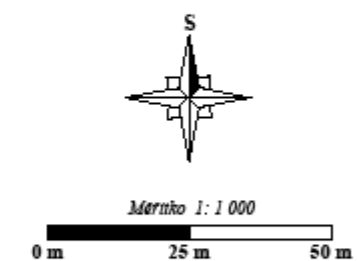
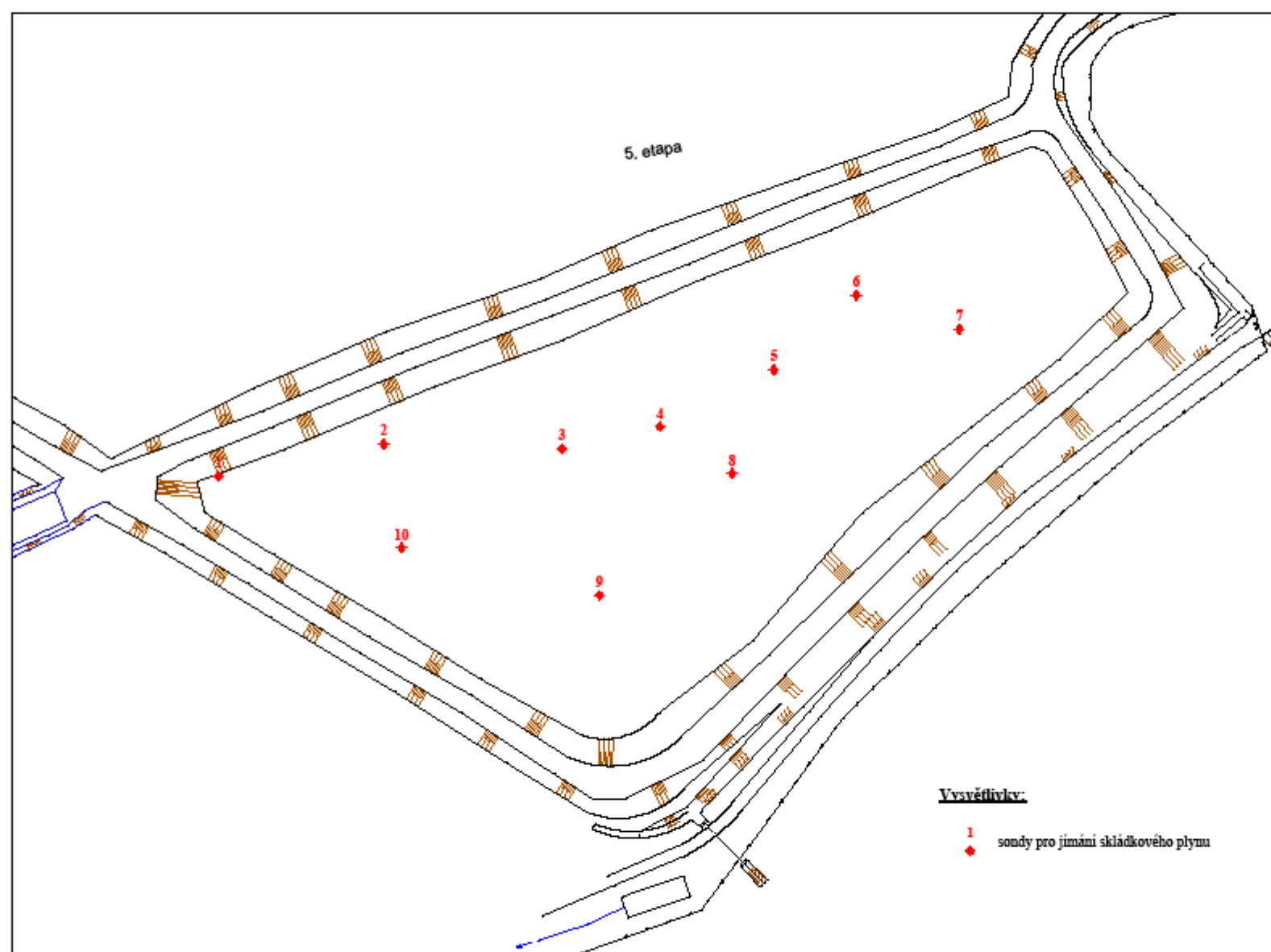
Příloha č. 3: Mapa koncentrace oxidu uhličitého ve skládkovém plynu

Příloha č. 4: Mapa koncentrace kyslíku ve skládkovém plynu

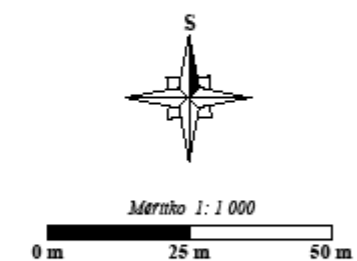
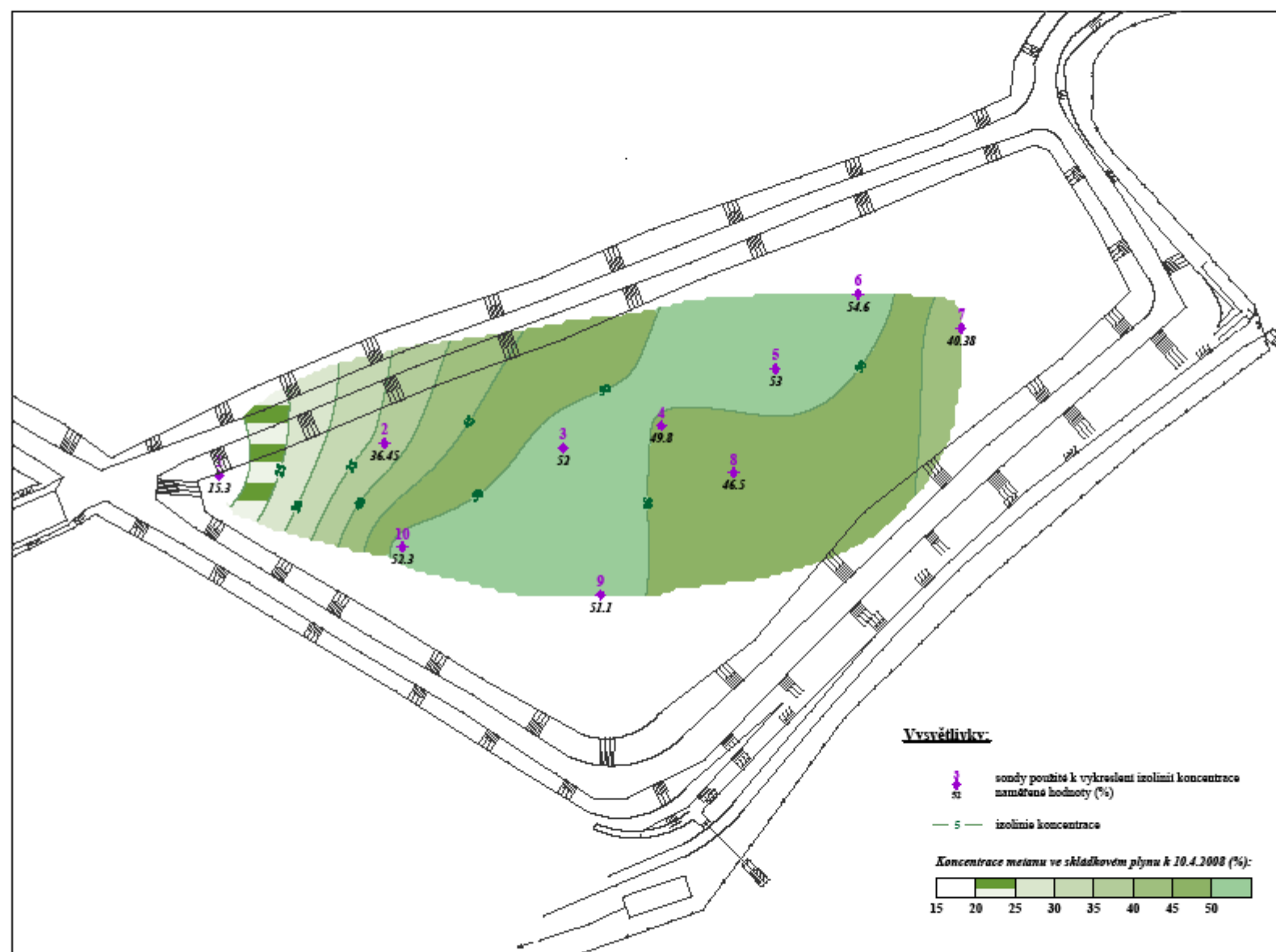
Příloha č. 5: Mapa koncentrace dusíku ve skládkovém plynu

Příloha č. 6: Optimální umístění vrtů pro jímání skládkového plynu

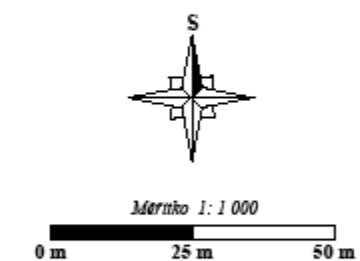
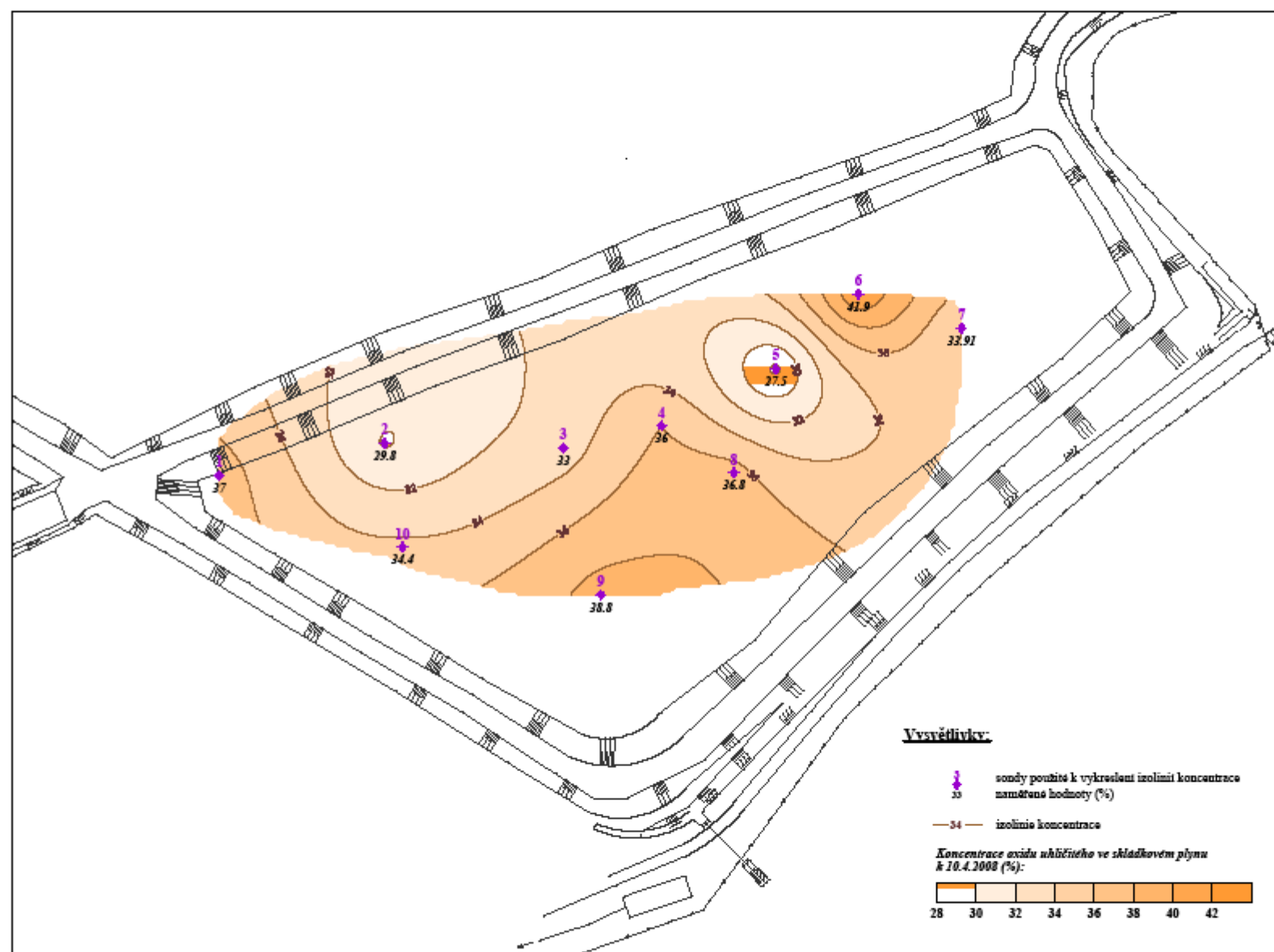
Podrobná situace zájmového území s reálnou sítí sond



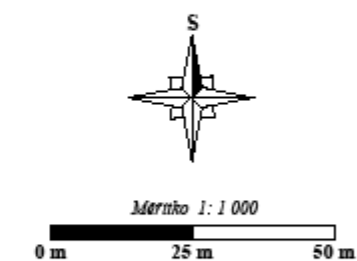
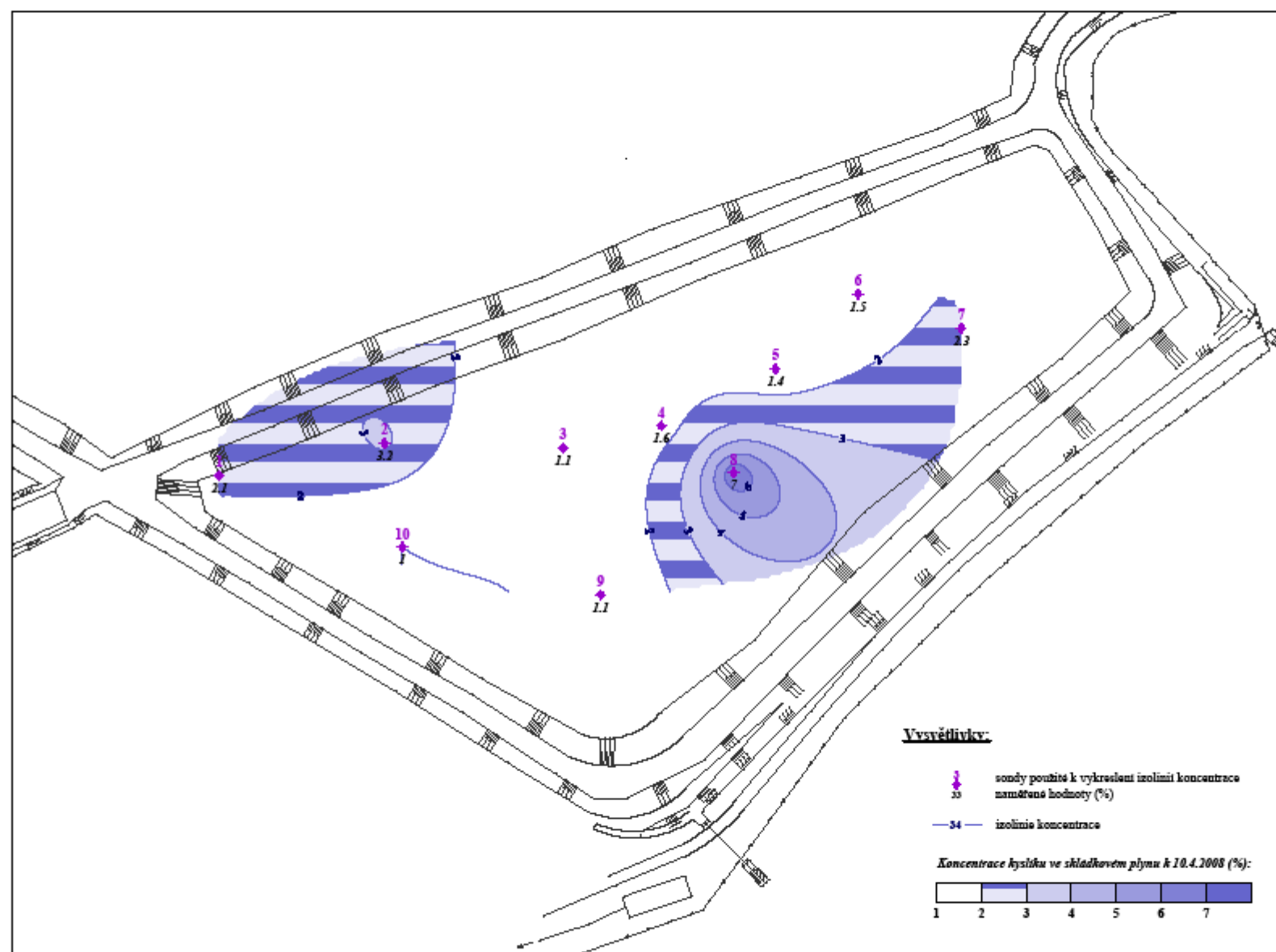
Mapa koncentrace metanu ve skládkovém plynu



Mapa koncentrace oxidu uhličitého ve skládkovém plynu

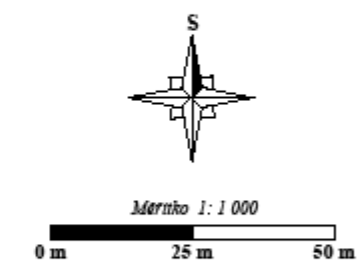
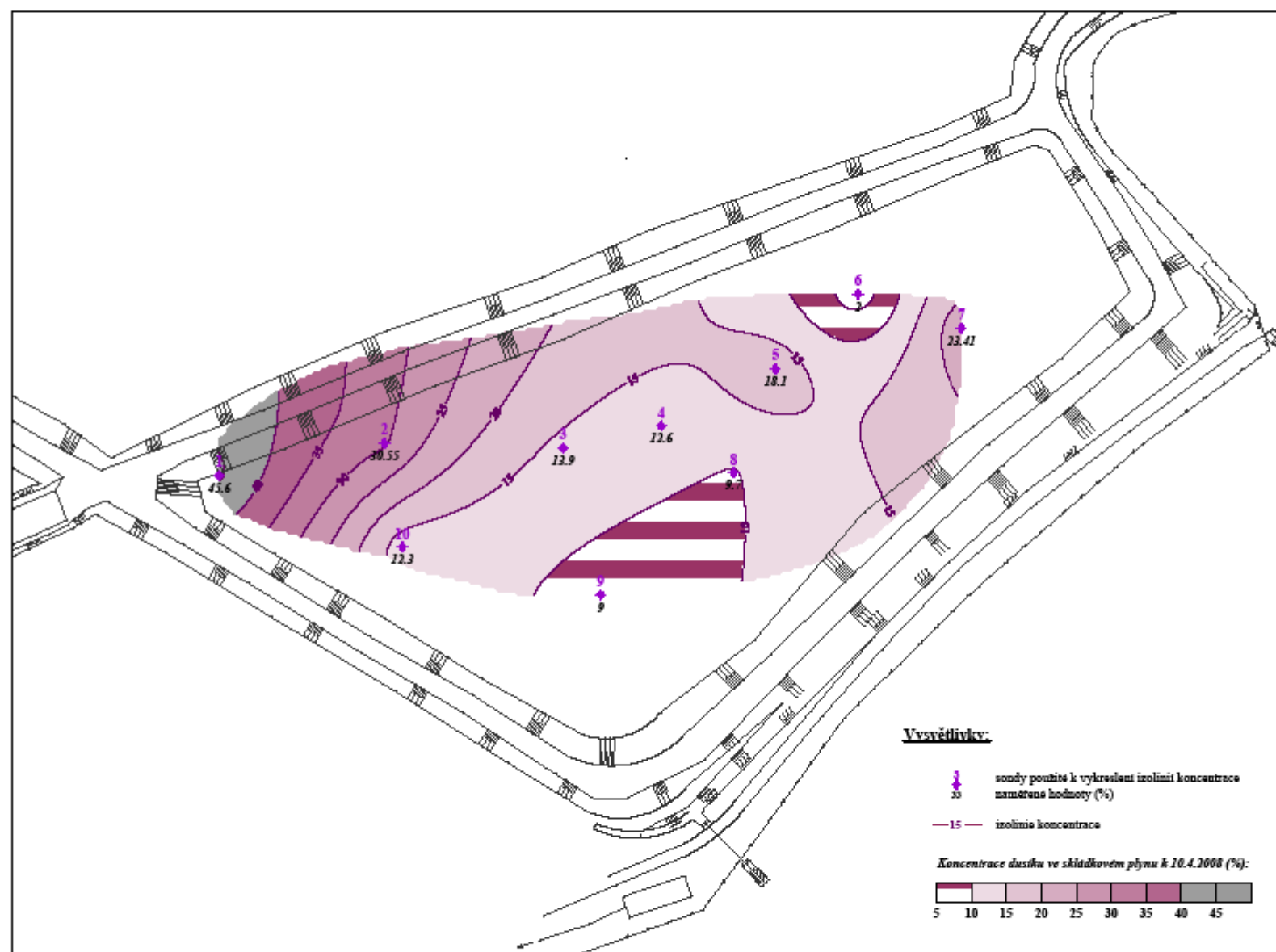


Mapa koncentrace kyslíku ve skládkovém plynu



17.4.2008, Jaroslav Zezula

Mapa koncentrace dusíku ve skládkovém plynu



Optimální umístění vrtů pro jímání skládkového plynu

